

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DOSIFICADOR CON  
MEZCLADOR PARA EL ACRÍLICO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE  
PRÓTESIS TEMPORALES EN ODONTOLOGÍA**

**Natalia Ortiz Gómez**

**Andrea Restrepo Céspedes**

**Universidad EAFIT  
Ingeniería de Procesos  
2009**

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE DOSIFICADOR CON  
MEZCLADOR PARA EL ACRÍLICO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE  
PRÓTESIS TEMPORALES EN ODONTOLOGÍA**

**Natalia Ortiz Gómez  
Andrea Restrepo Céspedes**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingenieras de Procesos**

**Asesor: Luis Santiago París Londoño; Ph. D(c)  
Co-asesor: Diego A. Acosta; Ph.D**

**MEDELLÍN  
UNIVERSIDAD EAFIT  
FACULTAD INGENIERÍA DE PROCESOS  
2009**



Nota de Aceptación

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Medellín, Octubre 15 de 2009

A NUESTROS PADRES QUIENES HAN HECHO POSIBLE EL LOGRO DE SER  
PROFESIONALES, Y QUIENES NOS HAN BRINDADO SU APOYO EN CADA  
INSTANTE, A DIOS POR PERMITIRNOS RECORRER ESTE CAMINO Y A  
NUESTROS DOCENTES QUIENES NOS HAN GUIADO CON SU CONOCIMIENTO.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la empresa C.I Practident, sus propietarios Miguel Ángel Ortiz y Martha Lucía Gómez por toda su ayuda en el desarrollo de este proyecto.

A los odontólogos Dra. Liliana Martínez, Dra. Liliana Ma. Gallego, Dr. Luis Alberto Zapata y Dr. Guillermo Céspedes por sus grandes aportes al proyecto.

A Santiago Paris y Diego A. Acosta , Docentes de la Universidad EAFIT, por guiarnos en el desarrollo conceptual de este proyecto.

A Juan Carlos Echavarría, Ingeniero Mecánico de La Universidad de Antioquia, quien aportó en este proyecto con sus conocimientos y habilidades.

A Jairo Vásquez por el desarrollo físico del equipo.

A Carlos Arturo Restrepo, Marco Paniagua y Juan Carlos Duque, colaboradores de la Universidad EAFIT Laboratorio de Materiales, por su colaboración en el desarrollo de las pruebas mecánicas a los materiales

A Carlos Correa y Marco Valencia, Docentes de la Universidad EAFIT, Ingeniería de Procesos, por sus aportes de conocimientos en el análisis realizado durante el proyecto.

A Carlos Enrique Muñoz, Germán Pombo y Javier Toloza, Ejecutivos de la empresa ASSENDA S.A, por permitirnos el tiempo para llevar a cabalidad nuestro proyecto de tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	16
1. OBJETIVOS.....	18
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
2 MARCO REFERENCIAL .....	19
2.1 PRÓTESIS DENTALES HECHAS EN ACRÍLICO .....	19
2.2 BONDADES DEL POLIMETILMETACRILATO .....	20
2.2.1 Propiedades mecánicas en uso dental.....	22
2.3 POLÍMEROS EN ODONTOLOGÍA.....	24
2.3.1 Metilmetacrilato .....	25
2.3.2 Polimetilmetacrilato .....	26
2.3.2.1 Producción y Aplicación del Polimetilmetacrilato.....	26
2.4 PREPARACIÓN DE MASILLA PLÁSTICA PARA LA FORMACIÓN DE DIENTES ARTIFICIALES.....	28
2.5 DOSIFICADORES EN LA INDUSTRIA ODONTOLÓGICA .....	31
3 METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	37
3.1 MATERIALES Y EQUIPOS .....	38
3.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	39
3.3 ETAPAS DEL PROCESO MANUAL DE MANUFACTURA .....	40
3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	44
3.4.1 Espectroscopía Infrarroja .....	44
3.4.2 Calorimetria de Resinas Acrílicas .....	45
3.4.3 Fotografías de la morfología y homogeneidad de las materias primas en polvo .....	46
3.4.4 Búsqueda de la Proporción de Mezcla para el acrílico .....	47
3.5 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	49
3.5.1 Diseños preeliminares .....	49
3.5.2 Pasos en el proceso de construcción .....	51
3.6 FICHA TÉCNICA DE OPERACIÓN .....	57

3.7 FICHA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO .....	59
3.8 ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS .....	61
3.8.3 Medición Densidad .....	65
3.8.4 Prueba de Dureza .....	66
3.8.5 Prueba de Tracción .....	67
3.8.6 Prueba de Flexión .....	67
3.8.7 Prueba de Compresión.....	68
3.8.8 Prueba de Contracción.....	68
3.8.9 Apreciación Porosidad de la Muestra .....	68
4 ANALISIS DE RESULTADOS .....	70
4.1 DEFINICIÓN DE PASOS.....	70
4.2 ESPECTRO INFRARROJO.....	71
4.3 CURVAS DE CALOR .....	72
4.3.1 Curva de Calor Veracryl®.....	73
4.3.2 Curva de Calor Practident®.....	74
4.3.3 Calorimetría Coldpac.....	75
4.4.1 Morfología Veracryl®.....	76
4.4.2 Morfología Coldpac .....	77
4.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS COMPLETAMENTE ALEATORIO....	80
4.5.1 ANÁLISIS DE PRUEBAS MECÁNICAS.....	81
4.5.1.1 Dureza .....	82
4.5.1.2 Resistencia a la Compresión .....	86
4.5.1.3 Resistencia a la Tracción.....	90
4.5.2 ANALISIS PROPIEDADES FÍSICAS .....	98
4.5.2.1 Densidad.....	98
4.5.2.2 Contracción.....	100
4.5.2.3 Porosidad.....	103
5. ANÁLISIS ECONÓMICO REALIZACIÓN DEL PROTOTIPO .....	105
6. CONCLUSIONES .....	106
7. RECOMENDACIONES.....	109
BIBLIOGRAFÍA.....	110

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tipo de prótesis dentales.....	20
Ilustración 2. Fuerza de Compresión * .....	22
Ilustración 3. Resistencia a la Tracción* .....	23
Ilustración 4. Resistencia a la flexión* .....	23
Ilustración 5. Estructura Metilmetacrilato .....	25
Ilustración 6. Polimerización metilmetacrilato .....	27
Ilustración 7. Dosificación y Mezcla de componentes*** .....	30
Ilustración 8. Dispensador RelyX .....	32
Ilustración 9. Position Penta Quick .....	33
Ilustración 10. Pentamix™ 2 Mixing Unit .....	33
Ilustración 11. Cartridge Accessories.....	34
Ilustración 12. Cartridge Accessories.....	34
Ilustración 13. Capsule Mixing Unit.....	35
Ilustración 14. Dosificación manual de acrílico realizado.....	41
Ilustración 15. Prueba de endurecimiento de las 3 marcas elaboradas en la Universidad de Antioquia .....	42
Ilustración 16. Talla de diente realizado por el.....	43
Ilustración 17. Diagrama del proceso manual .....	44
Ilustración 18. Spectrum Bx FT-IR System .....	45
Ilustración 19. Termóstato Digital Craftsman de la empresa CI Practident.....	46
Ilustración 20. Montaje con termopar y software en.....	46
Ilustración 21. Fotografías con el microscopio Stemi SV8 .....	47
Ilustración 22. Pruebas de mezcla con cantidad y proporción .....	48
Ilustración 23. Muestra de Masillas realizadas en la U de A.....	48
Ilustración 24. Ideas para la implementación del equipo .....	50
Ilustración 25. Diseño preliminar 1 en solidwork.....	51

Ilustración 24. Polipropileno como material para la construcción de jaladoras y cámara del dosificador .....	51
Ilustración 25. Compartimientos de almacenamiento de .....	52
Ilustración 26 a) Partes del dosificador b) Dosificador sujetado con dos tornillos .....	52
Ilustración 27. Discos intermedios del líquido con O-ring .....	53
Ilustración 28. Mezclador con vista de lado y de frente .....	54
Ilustración 29. Montaje de dosificación en acrílico .....	55
Ilustración 30. Ensamble de estructura con tornillos .....	55
Ilustración 31. Perforación en la jaladora de carga para el líquido .....	56
Ilustración 32. Indicaciones de uso por pasos .....	57
Ilustración 33. Retirar compartimientos .....	59
Ilustración 34. Retirar Tornillos .....	59
Ilustración 35. Desarmar Dosificadores .....	60
Ilustración 36. Limpieza partes .....	60
Ilustración 37. Armado del sistema .....	60
Ilustración 38. Modelos en Solidwork de molde para tracción y flexión .....	61
Ilustración 39. Maquinas para construcción de moldes .....	63
Ilustración 40. Molde de flexión en acero medio carbono .....	63
Ilustración 41. Moldes de Probetas .....	64
Ilustración 42. <b>Probetas de acrílico para pruebas</b> .....	64
Ilustración 43. Rectificación con pulida de probetas de acrílico .....	65
<b>Ilustración 44.</b> Balanza electrónica conectada con .....	66
Ilustración 45. Prueba de dureza con el durómetro Bareiss .....	66
Ilustración 46. Pruebas de a) tracción y b) Flexión en maquina universal .....	67
Ilustración 47. Prueba de compresión .....	68
Ilustración 48. Muetsras de acrílico para apreciación de porosidad .....	69
Ilustración 49. Resultado espectro infrarrojo materiales .....	71
Ilustración 50. Curva de Calor Veracryl® .....	73
Ilustración 51. Gráfica curva de calor Practident .....	74
Ilustración 52. Curva de calor Coldpac .....	75

Ilustración 53. Morfología Veracryl® .....	77
Ilustración 54. Morfología Coldpac.....	78
Ilustración 55. Morfología Practident.....	79
Ilustración 56. Grafica resultados dureza materiales .....	82
Ilustración 57. Desviación promedio de dureza según mezcla .....	83
Ilustración 58. Porcentaje de desviación para cada tipo de muestra .....	83
Ilustración 59. Graficas de medias para dureza en mezcla y marca.....	85
Ilustración 60 Grafica dureza .....	86
Ilustración 61. Grafico resultados compresión materiales.....	87
Ilustración 62. Desviación promedio de compresión según mezcla para cada material .....	88
Ilustración 63. Porcentaje de desviación para cada tipo de muestra .....	89
Ilustración 64. Gráficas de medias de mezcla y marca para la compresión. ....	90
Ilustración 65. Gráfica resultados prueba de tensión .....	91
Ilustración 66. Porcentaje de cambio de tracción prototipo respecto a mezcla manual .....	92
Ilustración 67. Variación datos ensayo de tracción .....	92
Ilustración 68. Gráficas de medias para mezcla y marca.....	93
Ilustración 69. Gráfica resultados prueba de flexión .....	94
Ilustración 70. Desviación promedio de resistencias a la flexión .....	95
Ilustración 71. Variación de datos ensayo de flexión .....	96
Ilustración 72. Gráfica Medias de mezcla y marca para flexión .....	96
Ilustración 73. Densidades material.....	98
Ilustración 74. Grafica medias de mezcla y marca para flexión .....	99
Ilustración 75. Gráfico Densidad Muestras .....	100
Ilustración 76. Porcentaje de contracción en el moldeo.....	101
Ilustración 77. Grafica Medias de mezcla y marca para contracción .....	102
Ilustración 78. Muestra Poco Porosa .....	104
Ilustración 79. Muestra Porosa .....	104



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Resumen propiedades en los materiales odontológicos .....	21
Tabla 2 Coeficiente de expansión térmica lineal.....	24
Tabla 3.Propiedades de Metilmetacrilato .....	26
Tabla 4.Composición Acrílica para bases de prótesis (Guzmán, 2003).....	28
Tabla 5. Consolidación tamaños mayores y menores de partículas .....	79
Tabla 6. ANOVA para dureza .....	84
Tabla 7. ANOVA para compresión.....	89
Tabla 8. ANOVA para la tracción .....	93
Tabla 9. ANOVA para flexión .....	96
Tabla 10. Tabla ANOVA para densidades .....	99
Tabla 11. ANOVA para contracción .....	102
Tabla 12. Análisis de costos .....	105

## **RESUMEN**

En el proyecto de grado se describe el diseño y la implementación de un prototipo de dosificador para el acrílico utilizado en odontología para prótesis dentales.

El diseño del equipo se encuentra soportado en 4 razones principales:

- Mejoramiento de la calidad del producto por una dosificación adecuada de los materiales
- Disminución de desperdicios generados a partir de errores en la dosificación
- Conservación y almacenamiento de las materias primas para la preparación del acrílico
- Facilidad de uso eliminando la labor realizada manualmente por el odontólogo.

Para llevar a cabo el diseño se realiza un estudio y descripción de la preparación manual del acrílico y se identifican los inconvenientes y posibles mejoras a realizar sobre el proceso, como también una caracterización de las materias primas a utilizar. Basado en esta información se describen las pruebas y el análisis realizado para lograr un diseño que suple las necesidades de dosificación, mezcla y cumple con la funcionalidad requerida; posteriormente se hace énfasis en la metodología de construcción del equipo, materiales y métodos de almacenamiento, dosificación y mezcla elegidos para el equipo.

Con el fin de garantizar la obtención de un buen producto a partir de la utilización del prototipo, se realizaron pruebas mecánicas de dureza, compresión, tracción y flexión a probetas obtenidas de la mezcla obtenida del prototipo y a probetas obtenidas con una mezcla manual. Con los resultados obtenidos se realizó un diseño de experimentos y un análisis de resultados

donde se encontró que para el caso de las probetas fabricadas con la mezcla del prototipo los resultados de los ensayos realizados son más homogéneos, mientras que la muestra manual arroja datos más dispersos entre si, esto significa que las muestras obtenidas del prototipo tienen propiedades similares entre sí. Se marca también una diferencia entre los resultados de la mezcla del prototipo en relación con los resultados de la mezcla manual, favoreciendo para todas las pruebas el comportamiento de la mezcla del prototipo lo cual es satisfactorio y sustenta la implementación del dispositivo en los consultorios odontológicos.

Como soporte al desarrollo del proyecto se encuentran los planos del equipo fabricado, gráficas con los resultados de las pruebas y el respectivo análisis de resultados para cada prueba, fichas técnicas de uso y mantenimiento del equipo.

Al finalizar el estudio y construcción del dosificador con mezclador se concluye que es una opción viable para implementar en los consultorios porque tiene un fácil manejo y optimiza la labor del odontólogo en la preparación de prótesis dentales, conserva las propiedades de las materias primas y produce un material consistente, el cual muestra un mejor comportamiento mecánico, buena apariencia física y propiedades homogéneas para las prótesis fabricadas a partir de él.

## **ABSTRACT**

In the graduation project it is described the design and implementation of acrylic dispenser prototype used in dentistry for prosthesis.

The equipment design is supported by 4 main reasons:

- Improvement in the product's quality by an adequate material dosing
- Diminishment in the generated waste by errors in dosing
- Conservation and storage of raw materials for the acrylic preparation
- Usage easiness by eliminating the job done by the dentist

To carry out this design, a study and description on the manual preparation of acrylic is done. Drawbacks and possible improvements on the process as well as a characterization on the raw materials are also considered. Based on this information, samples and analysis are described to accomplish a design that fulfills the requirements in dosing and mixture and that also features the functionality needed. Further on, an emphasis on construction methodology, materials and storage methods, dosing and mixture chosen for the equipment is done.

With the aim of guaranteeing the acquirement of a high quality product from the usage of the prototype, mechanical tests on hardness, compression, traction and flexion were carried out to test tubes of the mixture obtained with the prototype and the ones obtained manually. With the results obtained, an experiment design and results analysis was carried out; this showed that for the case of test tubes made with the prototype mixture, the results on the test are more homogeneous, while the ones from the manual mixture are more disperse, which means that the samples from the prototype have similar properties. A strong difference between the results from the prototype and the manual mixture is observed, favoring the behavior of the prototype mixture for

all the samples. The previous is satisfactory and sustains the implementation of such device in dentistry praxis.

As a support in the development of the project, the plot of the manufactured equipment, graphics with results and further analysis on each sample, as well as technical data sheets on use and maintenance of the equipment can be found.

Finishing the study and manufacture of the dosing prototype it is concluded that it is a viable option to implement in dentistry praxis due to its simplicity in operation and optimization on the dentistry's job of preparing prosthesis. It also preserves the raw materials properties and produces a consistent product, which shows a better mechanical behavior, good physical appearance and homogeneous properties of the prosthesis manufactured from it.

## INTRODUCCIÓN

En el campo de la odontología se utilizan una gran cantidad de materiales con diferentes componentes químicos para la elaboración de restauraciones dentales, estos materiales deben cumplir con ciertas características que garanticen el buen comportamiento durante su uso, y sean de fácil manipulación tanto para el odontólogo como para el laboratorista dental; dentro de los compuestos más utilizados, se encuentra el acrílico el cual posee bondades que lo hacen apto para el uso odontológico; en la búsqueda de un mejoramiento en la utilización de este material y la potencialización de sus propiedades, su manipulación eficiente y con el objetivo de lograr un impacto positivo y ágil en su proceso de preparación, se pretende lograr el diseño de un componente práctico y funcional que cumpla con estos requerimientos.

El acrílico ha sido utilizado por los odontólogos como material para fabricación de prótesis dentales debido a que presenta propiedades mecánicas adecuadas y cumple con los requerimientos estéticos necesarios, la preparación del acrílico se logra mezclando el monómero del polímero, hasta el momento no se tiene información de equipos de dosificación de acrílico que se hayan utilizado a nivel nacional, usualmente se ha preparado de manera manual en consultorios o laboratorios dentales, donde no siempre se cumple con la formulación para la mezcla del monómero y el polímero, ni se utilizan implementos de medición correctos, generalmente se recurre a la percepción o costumbre de la persona que prepara la masilla quien determina como debe quedar finalmente la consistencia del acrílico basado en propiedades reológicas como la fluidez, consistencia y pegajosidad, las proporciones de líquido y sólido al no ser suministradas adecuadamente afectan las propiedades esperadas en el acrílico.

Para la construcción del equipo se obtuvo la proporción adecuada de la mezcla con pruebas realizadas en la Universidad de Antioquia variando la cantidad de monómero y polímero según indicaciones de las casas fabricantes y de acuerdo a el objetivo de las pruebas sería la obtención de una resina acrílica de buenas propiedades y comportamiento para la correcta elaboración de prótesis dentales y mediante un dosificador practico y funcional obtener una preparación adecuada del acrílico que lo hagan competitivo sobre otros materiales odontológicos, garantizando mediante pruebas mecánicas su resistencia a fuerzas ejercidas en la boca derivadas de la masticación y fuerzas mandibulares, así como impactos en los dientes.

Todo esto será soportado en la información adquirida de una completa revisión bibliográfica que abarca tanto libros de prótesis y materiales dentales, como de mecánica y diseño de equipos, también se contará con un levantamiento de información detallada del proceso de preparación de prótesis, un estudio de las características de los materiales a trabajar, el diseño de un equipo que cumpla con las necesidades específicas del proceso, y pruebas finales para comparar el resultado y comportamiento de los productos obtenidos manualmente y con ayuda del equipo.

El proyecto concluirá con el diseño y manufactura del prototipo de dosificación y mezcla de acrílico, y con las pruebas y los resultados finales comparativos entre ambos procesos, el manual y el semiautomático

# **1. OBJETIVOS**

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Construir un prototipo dosificador-mezclador de acrílico autopolimerizante con las proporciones correctas de la mezcla de monómero – polímero, que reemplace la operación manual que se viene implementando en la actualidad en los consultorios y laboratorios odontológicos para la elaboración de las prótesis temporales.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar con la ayuda de la espectroscopia infrarroja compuestos de los acrílicos con los cuales se va a trabajar (veracril<sup>®</sup>, Coldpac<sup>®</sup> y el acrílico de C.I Practident S.A), con el fin de identificar a partir de esta caracterización las diferencias que pueden llevar a modificaciones en el diseño del prototipo.
- Realizar un análisis de los parámetros del proceso que se deben considerar en cuanto la producción de las prótesis temporales, para la realización de un diseño preliminar del prototipo dosificador-mezclador.
- Variar algunos componentes del dosificador-mezclador, como la forma de mezclado, el control del ambiente (presión y temperatura) para comprobar su influencia en la calidad de la prótesis dental.
- Medir propiedades mecánicas y físicas relevantes a muestras de acrílico obtenidas en el prototipo y mediante mezcla manual, para realizar un análisis de resultados por medio de un diseño de experimentos.



## **2 MARCO REFERENCIAL**

### **2.1 PRÓTESIS DENTALES HECHAS EN ACRÍLICO**

Una prótesis dental consiste en un elemento fabricado artificialmente el cual simula un diente, empleada para reemplazar una o varias piezas dentarias, y cuyo objetivo es la recuperación de las funcionalidades perdidas por la falta del diente, como trituración de alimentos, masticación, y fonética adecuada para la comunicación, así como la apariencia estética proporcionando

De acuerdo a la manera en que sea soportada la prótesis en las estructuras bucales, se clasifican en Dentosoportadas, Mucosoportadas, Dentomucosoportadas e Implantosoportadas, las prótesis realizadas de acrílico se soportan en dientes o en la encía directamente, y son prótesis temporales, las cuales pueden ser fijas o removibles, dependiendo de la forma en que esta sujeta, ejemplos diagramados en la ilustración 1.

Las razones que soportan la utilización de prótesis temporales de este tipo y fabricadas en acrílico son:

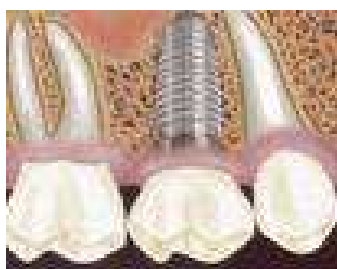
- ❑ Cicatrización de zonas donde hubo extracciones recientes de dientes, antes de la implantación de una prótesis definitiva
- ❑ Periodo de transición mientras se produce la osteointegración y se acomoda el espacio bucal para la implantación de la prótesis definitiva
- ❑ Pacientes jóvenes o pacientes de edad avanzada quienes tienen la pulpa dental desarrollada
- ❑ Pacientes con pérdidas óseas ( Mallat Ernest)



a) Temporal Fija



b) Removable



c) Definitiva

**Ilustración 1. Tipo de prótesis dentales<sup>1</sup>**

## **2.2 BONDADES DEL POLIMETILMETACRILATO COMO MATERIAL DE FABRICACIÓN DE PRÓTESIS DENTALES**

El éxito de las prótesis dentales se fundamenta en 3 razones principales: cuidado del paciente hacia ellas, habilidad del odontólogo en su implantación y comportamiento de la prótesis en la boca, esta última depende directamente del material de fabricación, y a su vez de la composición y método de preparación de dicho material; los materiales a utilizar en prótesis dentales deben estar cuidadosamente evaluados y seleccionados. El polimetilmetacrilato es un material usado en este tipo de procedimientos puesto que cumple con las características enunciadas en la Tabla 1, requeridas para el uso en boca y funcionalidad adecuada.

<sup>1</sup> Imágenes tomadas de la información publicada por: [clinicadentalsanadente.com](http://clinicadentalsanadente.com), [dentalrojas.orthoesthetic.com](http://dentalrojas.orthoesthetic.com), [implantologiacolombia.org](http://implantologiacolombia.org)

**Tabla 1** Resumen propiedades en los materiales odontológicos

<b>Propiedades de los materiales odontológicos</b>	
Compatibilidad Biológica	Insípido
	Inodoro
	No tóxico
	No irrita los tejidos bucales
	Insoluble el saliva y fluidos que entren en la boca
Propiedades Físicas	Fuerza
	Resiliencia
	Resistencia a las fuerzas de masticación
	Resistencia a las fuerzas de impacto
	Estabilidad dimensional por cambios térmicos
	Estabilidad dimensional por exposición a cargas
	Baja gravedad específica
Manipulación	No genere humos tóxicos
	No desprenda polvo
	Corto tiempo de fraguado
	De fácil pulimiento
Propiedades estéticas	Translucidez y transparencia
	Capacidad de teñir y pigmentar
	No cambie de color

(H. Ralph Rawls ).

### 2.2.1 Propiedades mecánicas en uso dental

Los dientes en la boca son sometidos a diferentes tipos de fuerzas derivadas de la masticación, fuerzas provenientes de impactos e imprevistos y fuerzas generadas desde la mandíbula por estrés o tics nerviosos, los dientes son estructuras fuertes y resistentes que difícilmente se deforman ante este tipo de fuerzas, por ello se hace importante la evaluación de las siguientes propiedades mecánicas en los materiales dentales.

- **Dureza:** La dureza de un material consiste en el grado de solidez de este proporcionado por las interacciones entre moléculas y su capacidad de resistir al rayado y penetración, debe ser lo suficientemente duro para evitar la penetración de objetos o alimentos en su estructura. ( Phillips, 1993)
- **Resistencia a la compresión:** Una carga sobre un cuerpo tiende a reducir el volumen o producir un acortamiento del material en determinada dirección como se muestra en la Ilustración 2, para el caso dental se trata de la presión mandibular ejercida sobre los dientes.( Phillips, 1993)

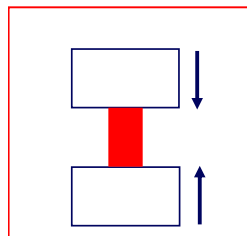


Ilustración 2.Fuerza de Compresión \*

- **Resistencia a la tracción:** Es la resistencia que tiene un cuerpo a la elongación o estiramiento provocado por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo de la manera en que se visualiza en la Ilustración 3. ( Phillips, 1993)



Ilustración 3. Resistencia a la Tracción\*

- **Resistencia a la Flexión:** Define la rigidez de un material, la flexibilidad es aquella propiedad que permitirá el retorno del material a su estado original después de retirar una carga aplicada que tiende a doblarlo, como se muestra en la Ilustración 4. (Phillips, 1993)

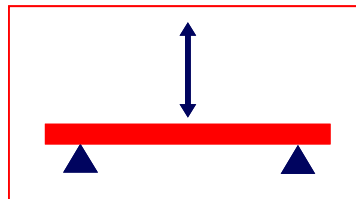


Ilustración 4. Resistencia a la flexión\*

- **Contracción:** Se refiere a la disminución de tamaño de un cuerpo o acortamiento por algún fenómeno físico.
- **Coeficiente de expansión térmica:** Es una propiedad que responde al comportamiento de dilatación de un cuerpo en presencia de calor y la contracción de un cuerpo por presencia de frío debido a las variaciones radicales de temperatura en la boca

por ingestión de sustancias o alimentos, se debe tener un bajo coeficiente de expansión/contracción térmica que evite que este material sufra esta contracción o dilatación. Este coeficiente de expansión corresponde al cambio de longitud al variar la temperatura en 1°C. (Humberto Guzmán – 2003). Esta propiedad se ha medido en estudios anteriores y se muestra la relación de contracción para los materiales utilizados como prótesis en la tabla 2.

**Tabla 2** Coeficiente de expansión térmica lineal

Tejido dentario	11.4	mm/mm	* °C*10-6
Cemento de silicato	7.6	mm/mm	* °C*10-6
Amalgamas de plata	25	mm/mm	* °C*10-6
Resinas acrílicas	81	mm/mm	* °C*10-6
Resinas compuestas	25-40	mm/mm	* °C*10-6

(Guzmán, 2003)

## 2.3 POLÍMEROS EN ODONTOLOGÍA

Un polímero es una macromolécula que resulta de la unión de cierta cantidad de moléculas pequeñas de un compuesto, este proceso de formación de la macromolécula se denomina polimerización y requiere de un monómero, un activador y condiciones especiales que promuevan la reacción de polimerización. Los polímeros se pueden clasificar de acuerdo a la estructura de la molécula (Lineal, ramificada), de acuerdo al proceso de polimerización (Condensación, adición, por etapas o en cadena) o según su composición y monómero de donde se derivan, según su comportamiento con la temperatura (termoplásticos, termoestables) o según sus aplicaciones (elastómeros, plásticos, fibras, recubrimientos adhesivos).

Basados en su composición, el estudio de las propiedades odontológicas en polímeros derivados de acrílico (metilmetacrilato) ha arrojado resultados apropiados para su uso como dientes provisionales, porque tienen alta resistencia al impacto y baja resistencia a la abrasión, son tenaces, insolubles en tejidos bucales, sufren poco cambio dimensional, no se distorsionan con el calor, tienen apariencia natural, y adicional a ello logran una consistencia similar a un diente natural, son livianos y pueden ser moldeados, tallados y pulidos por el odontólogo en su proceso de adaptación a la boca y formación de la apariencia similar a un diente. Estas propiedades se acomodan a las necesidades odontológicas buscadas para reemplazo de un diente, razón por la cual es el material mas utilizado para las prótesis dentales.(Craig,1998, )

### 2.3.1 Metilmetacrilato

Es un compuesto químico cuya estructura química se diagrama en la Ilustración 5:

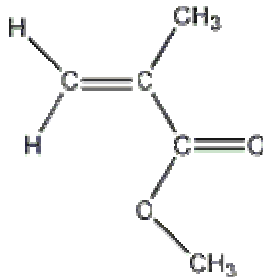


Ilustración 5. Estructura Metilmetacrilato

A temperatura ambiente se presenta como un líquido incoloro de aspecto similar al agua. En la tabla 2 se pueden ver las propiedades del Metilmetacrilato

Tabla 3. Propiedades de Metilmetacrilato

<b>PROPIEDADES METILMETACRILATO</b>	
Peso Molecular	100
Punto de fusión	-48°C
Punto de ebullición	100,8°C
Densidad	0,945 g/mol a 20°C
Calor de Polimerización	12,9 Kcal/mol

Este compuesto es conocido principalmente por ser el monómero utilizado para producir polimetilmetacrilato (PMMA), material con el que al ser mezclado se produce masa plástica, con la cual se forma el diente a reemplazar y al terminar su reacción de polimerización se endurece. (Brydson, 1999,)

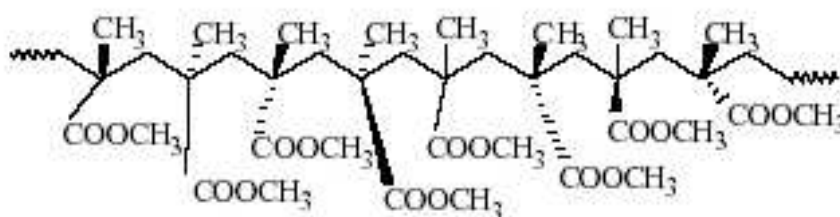
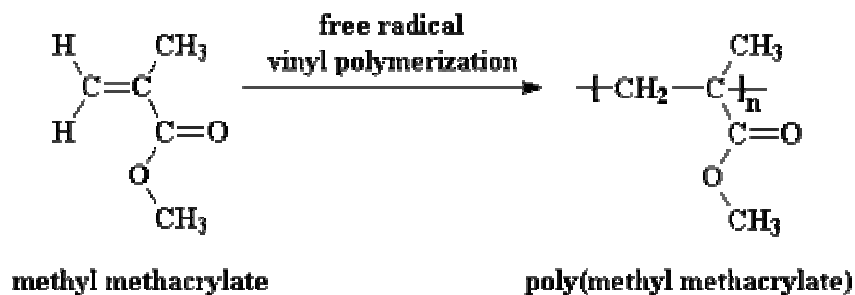
### **2.3.2 Polimetilmetacrilato**

Es un polímero termoplástico con características similares a un vidrio: es rígido, transparente, buena resistencia, buenas propiedades mecánicas y resistencia al impacto y a dejarse rayar, es un material de fácil manejo y manipulación (ANUSVICE , 2005).

#### **2.3.2.1 Producción y Aplicación del Polimetilmetacrilato.**

El Polimetacrilato de metilo (PMMA) o plexiglás es un polímero vinílico, formado por polimerización vinílica de radicales libres a partir del monómero metil metacrilato, la Ilustración 6 muestra la polimerización.





**Ilustración 6.** Polimerización metilmetacrilato

En su aplicación como prótesis total o removible, se puede utilizar el Polimetilmetacrilato termopolimerizable (requiere energía térmica para polimerizarse completamente como termofijo) para la fabricación de la base que sostiene los dientes en las prótesis totales y el Polimetilmetacrilato autopolimerizante (es activado químicamente, mediante la inclusión de una amina terciaria en su composición) para la reparación dental y formación de dientes artificiales. Estos polímeros presentan ventajas como estabilidad dimensional, características de manejo, color y compatibilidad con los tejidos bucales. (New Stetic, 2009)

La preparación de estas prótesis termofijas se hace mediante la reacción de copolimerización del metilmetacrilato y polimetilmetacrilato.

**Tabla 4.** Composición Acrílica para bases de prótesis (Guzmán, 2003)

<b>Polimero en polvo):</b>	
o Polímero	Gránulos de polimetilmetacrilato
o Iniciador	Peróxido de Benzoilo (aprox 0.5%)
o Pigmentos	Sales de Cadmio o hierro o pigmentos orgánicos

<b>Monomero Líquido</b>	
o Activador	N N dimetil- p- toluidina
o Monómero	Metilmetacrilato
o Ag. De cadenas	Etilenglicol dimetacrilato
o Inhibidor	Hidroquinona

En ocasiones se suelen añadir pigmentos y fibras con fines estéticos y plastificantes para favorecer la ductilidad en las aplicaciones en que sea necesario. Por ejemplo para la fabricación de dientes y para la base de las dentaduras no se añade, porque se requiere que el material sea duro y rígido. Pero, para el forro de las dentaduras, que esta en contacto directo con la encía, se requiere un material más suave y blando. (Infante, 2009)

## **2.4 PREPARACIÓN DE MASILLA PLÁSTICA PARA LA FORMACIÓN DE DIENTES ARTIFICIALES**

La masilla es el resultado de la reacción del Metilmetacrilato (Monómero) Líquido y del Polimetilmetacrilato en polvo, esta masilla pasa por diferentes estados del plástico concluyendo con la polimerización total, la cual se evidencia con el endurecimiento completo del material, esta masilla será el diente artificial que hará parte del paciente , la proporción de mezcla utilizada para la formación de un diente es 2:1 polímero:monómero en volumen (Pruebas de campo Facultad de

Odontología U de A, llevadas a cabo en compañía de los profesores del postgrado en estética dental).

El acrílico en el mercado se obtiene a un valor comercial aproximado de 450 \$/gr de polímero y 88\$/ml de monómero autopolimerizante. (Valores al año 2009, TRM Octubre de 2009= 1850 COL\$/US\$)

?

?

#### **2.4.1 Etapas de la Preparación del Diente Artificial\*\***

- **Dosificación de componentes (Monómero – Polímero):** Consiste en verter una cantidad determinada de los componentes en el recipiente adecuado para su mezcla. La medida de ambos componentes se hace manualmente de acuerdo a la apreciación visual de la cantidad.
  
- **Mezcla de componentes:** El polvo debe estar completamente humedecido por el líquido consistentemente, no se permite que su contextura esté más líquida, esta evaluación se hace según criterios a discreción del odontólogo de acuerdo al comportamiento reológico de la mezcla, la reacción que se produce es una reacción exotérmica. La mezcla es realizada a temperatura ambiente y se realiza por un tiempo cercano a 1 minuto o según apreciación del profesional. Para la mezcla se utiliza cualquier artefacto de consultorio similar a una espátula que cumpla la función. Hasta el momento se desconoce un equipo mezclador para la preparación de acrílico dental. En la ilustración 7 se puede ver la manera de dosificación manual.



**Ilustración 7.** Dosificación y Mezcla de componentes\*\*\*

- **Reposo del material:** Se debe esperar a que la reacción avance en evolución hasta el momento que el polímero se encuentre en un estado manipulable, el criterio para saber cuando es el momento indicado es la pérdida de brillo de la mezcla y el estado en el que se encuentra es un sólido dúctil similar a una masilla, el tiempo de reposo está alrededor de 1 minuto en este espacio de tiempo el odontólogo supervisa el cambio de estado de la muestra para saber en que momento puede ser manipulada. El tiempo varia de acuerdo a la cantidad de líquido suministrada entre mayor cantidad de líquido mayor será el tiempo requerido para el reposo.
- **Formación molde:** Después del reposo del material la mezcla adquiere un estado denominado masilla en el cual se deja moldear, con la masilla se realiza una esfera con la cual se mide el espacio en la boca para la prótesis.
- **Talla del diente:** La talla del material se realiza en el momento que el material ha adquirido cierta dureza y ha disminuido la temperatura alcanzada en la reacción de polimerización, el objetivo en lograr la forma de un diente natural. El tiempo requerido en esta etapa depende de la capacidad y experiencia del profesional, se

espera tener un tiempo aproximado de 5 minutos para la talla antes del endurecimiento completo del Acrílico

- **Endurecimiento:** El acrílico culmina su etapa de polimerización y todas las cadenas de su estructura se han enlazado, en este momento el material se enfría y pierde la temperatura que había ganado en el momento de la reacción, en esta etapa se alcanza la máxima dureza del material.<sup>2</sup> Es importante que el tiempo de endurecimiento no exceda los 5 minutos.

## 2.5 DOSIFICADORES EN LA INDUSTRIA ODONTOLÓGICA

La disponibilidad de tecnologías cada vez es más versátil, junto con la globalización y la modernización de los productos odontológicos, ha inducido entre los odontólogos y pacientes en el uso de nuevas tecnologías; por lo cual surge la necesidad de planear y evaluar su impacto clínico, económico y social previo a su uso indiscriminado. La falta de evaluación y de una administración adecuada de las tecnologías en salud, ha incrementado de manera explosiva el gasto en salud y por tal razón la industria odontológica cada vez se preocupa más por crear nuevos productos que apunten a tener cero errores en su manipulación que sean simple y respondan a las necesidades de salud de la población y su incorporación debe llevarse a cabo en forma razonada para evitar el desperdicio de recursos, el incremento de riesgos y la práctica inadecuada, por este motivo la dosificación de los materiales ha

---

<sup>2</sup> Información recolectada en el diplomado de estética Universidad de Antioquia Facultad de Odontología.

\*\* Información obtenida en la investigación de campo realizada en el diplomado de estética en La Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia

\*\*\* Foto Tomada en la Investigación de Campo U de A

incrementado su acogida en la odontología, creando productos más fáciles de manipular y economizadores de material y dinero

La compañía 3M es una compañía innovadora que se encuentra en la vanguardia liderando el mercado odontológico y han desarrollado diferentes metodologías de manipulación, dosificación y mezcla de materiales odontológicos, los cuales aplican para varios de sus productos (Cementos restauración, adhesivos dentales, impresiones y relleno) se han estudiado algunos de dosificadores como referencia al presente estudio los cuales se presentan en las ilustraciones 8 a 13.

### Dispensador RelyX™ 3M



Ilustración 8. Dispensador RelyX<sup>3</sup>

<sup>3</sup> 3M ESPE Dental Professionals, Catalogo de Productos

### Position™ Penta™ Quick VPS



Ilustración 9. Position Penta Quick<sup>4</sup>

### Pentamix™ 2 Mixing Unit



Ilustración 11

Ilustración 10. Pentamix™ 2 Mixing Unit<sup>5</sup>

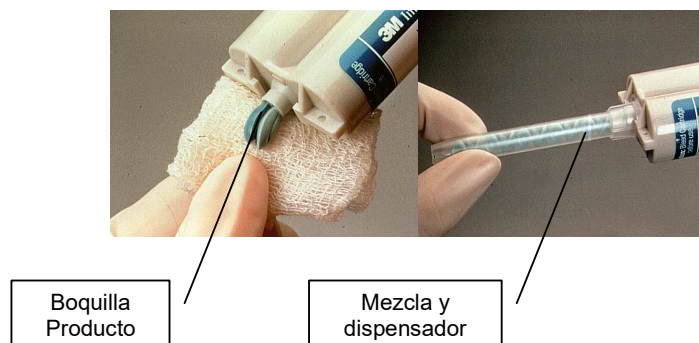
<sup>4</sup> IBID p. 33

<sup>5</sup> IBID p. 33

## Cartridge Accessories



**Ilustración 11.** Cartridge Accessories<sup>6</sup>



**Ilustración 12.** Cartridge Accessories<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> IBID p. 34

<sup>7</sup> IBID p. 34



### RotoMix™ Capsule Mixing Unit



**Ilustración 13.** Capsule Mixing Unit.<sup>8</sup>

En el catálogo de la empresa 3M se encuentra una variedad de diseños, métodos de dosificación y materiales, cada dosificador realiza una operación de medida acorde con las necesidades puntuales en las que se utiliza el material dispensado, de igual manera existen dispensadores con más grado de automatización, con el fin de imprimirle a la operación más regulación y tecnología. Existe en el mercado un dispensador automático para amalgama, el cual mezcla polvo plateado con mercurio y adicional a ello le imprime presión para producir la lámina, la diferencia de los insumos implica tener dos compartimentos con diferentes condiciones y diferentes medidores para la cantidad de material, también está construido con un control electrónico que automatiza el proceso para la formación de la amalgama.

Esta recopilación de información sobre dispensadores indica que necesidades similares han sido identificadas en el medio odontológico aún se desconoce una solución a la mezcla del acrílico según las investigaciones realizadas, el cual utilizado en grandes volúmenes por odontólogos y aquellos especializados en prótesis la metodología de preparación continua siendo manual y por este motivo profesionales del

---

<sup>8</sup> IBID p. 35

medio han adquirido cierta habilidad para la preparación del acrílico. (Patente N. 4.531.839 Automatic Dispenser Mixer – 1983).

Teniendo en cuenta metodologías que unen dos componentes diferentes para ser mezclados y producir un nuevo compuesto a utilizar, se resalta los compartimientos utilizados para cada materia prima y la unión de estas antes del momento de impregnar el producto en la boca, otros equipos dispensaran la masilla o el cemento desde un principio, y otros de ellos sirven como mezclado.

### 3 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

A continuación será descrita la metodología implementada, en la realización del proyecto de construcción del dosificador mezclador de acrílico para prótesis temporales.

- Búsqueda de la información bibliográfica, necesaria para el desarrollo del proyecto.
- Descripción del proceso aplicado en la actualidad, desde su inicio con la obtención de las materias primas, hasta el producto final que es la implantación de la prótesis en boca, mediante la realización de pruebas de campo.
- Caracterización de las resinas acrílicas Veracril<sup>®</sup>, Coldpac<sup>®</sup> y el acrílico Practident, utilizando monómero de la empresa de Newstetic.
- Desarrollo de diseños para la construcción del prototipo en cuanto a precisión, material y facilidad de manejo.
- Construcción del prototipo según los requerimientos y especificaciones del proyecto con la proporción de la mezcla escogida.
- Desarrollo de un plan de pruebas con implementación de un diseño de experimentos completamente aleatorios con los datos obtenidos con las muestras arrojadas por el prototipo y la mezcla manual.
- Pruebas mecánicas en el laboratorio de materiales de la universidad EAFIT a las muestras obtenidas con el prototipo y la

mezclas manuales a saber: Modulo de Flexión, Tensión, Dureza, contracción y Compresión, además pruebas físicas de Densidad y Porosidad.

- Análisis de resultados.
- Realización del Informe Final.

### **3.1 MATERIALES Y EQUIPOS**

Los materiales y equipos nombrados a continuación hicieron parte del desarrollo del proyecto.

#### **Materiales**

- 500 grs de Acrílico Veracril® transparente de la empresa Newstetic.
- 500 grs de Acrílico Coldpac® color 65 de la empresa Motloid
- 500 grs de Acrílico Practident
- 1 Lt de Monómero Veracil®
- 300 mg de Bromuro de potasio (KBr) de alta pureza.
- 50 grs Nylon en barra Empaquetaduras y empaques S.A.
- 50 grs Polipropileno en barra Empaquetaduras y empaques S.A.
- Acero medio carbonado SAE 1045 Compañía General de Aceros S.A para moldes
- Duralumina Compañía General de Aceros S.A para moldes

### **Equipos**

- Micropipeta 1 ml., CI Practident
- Beakers de 1000, 500 ml. CI Practident
- Probetas graduadas de 5 ml, 10 ml CI Practident
- Pipetas volumétricas de 5ml, 10 ml CI Practident
- Spectrum Bx FT-IR System, Universidad Eafit
- Termopar tipo K, Universidad Eafit
- Microscopio Stemi SV8 Zeiss, Alemania, Universidad Eafit
- Cámara Moticam 2500 de 5M pixel, Universidad Eafit
- CNC AKIRA-SEIKE Performa SR2 XP CI Practident
- Fresadora Bridgport CI Practident
- Torno EASSON ES-8 LATH CI Practident
- Software Solidworks CI Practident
- Software CAD CAD, CI Practident
- Termómetro Digital Craftsman 82392 CI Practident
- Pesa Metter Toledo, Universidad Eafit
- Calibrador digital CI Practident

### **3.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

La búsqueda de la información bibliográfica, necesaria para el desarrollo del proyecto, ha sido obtenida de diferentes medios: libros de odontología

(U de A Facultad de Odontología) para determinar las propiedades requeridas en materiales odontológicos, libros de materiales de la universidad EAFIT para metodologías de medición de propiedades mecánicas, bibliografía seleccionada con patentes de materiales y dosificadores que puedan servir como referencia a este trabajo. Esta revisión fue constante en el desarrollo del trabajo.

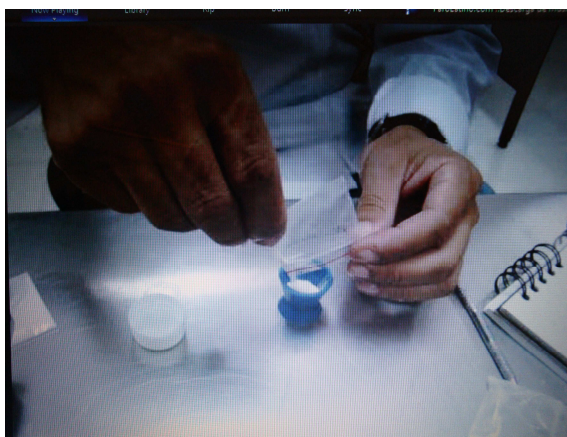
### **3.3 ETAPAS DEL PROCESO MANUAL DE MANUFACTURA**

El proceso se divide en etapas que son claves para el diseño y construcción del equipo, se debe tener en cuenta las restricciones del proceso en su totalidad, inconvenientes y posibles mejoras, las cuales conjuntamente harán parte del método de dosificación, mezcla, diseño físico del equipo y materiales.

Los datos descritos a continuación fueron recolectados en pruebas de campo en la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia con ayuda de docentes del diplomado en estética dental y especialistas en prótesis dental, además de la colaboración de la Dra. Liliana Martínez speaker de la Marca 3M en Colombia, productores y comercializadores de implementos odontológicos.

- 1. Dosificación de componentes (Monómero – Polímero):** El odontólogo vierte la cantidad de polvo (monómero) que considera necesaria en un recipiente de silicona llamado “dappen” ilustración 14 este recipiente evita que se adhiera el material a su superficie, luego el odontólogo adiciona las gotas de líquido (polímero) que a su parecer son las necesarias para la reacción, esta mezcla no siempre cumple con las condiciones requeridas para su buena manipulación al no utilizar los métodos de medición y las

proporciones recomendadas. Cuando estos compuestos están en contacto, no se recomienda adicionar más compuesto líquido ni polvo puesto que esta adición interfiere con la reacción en evolución.



**Ilustración 14.** Dosificación manual de acrílico realizado con odontólogos en la Universidad de Antioquia (Agosto 2009)

- 2. Mezcla de componentes:** El polvo debe estar completamente humedecido por el líquido, no se permite que su textura este más líquida o con superficies sólidas sin humedecer, el proceso de mezclado se realiza hasta que se obtenga una masa homogénea.
- 3. Reposo del material:** En la etapa de reacción química de ambos compuestos hay liberación de calor, donde se presentan cambios en el estado físico de la mezcla. Existe un momento oportuno para iniciar la talla de la masilla, pasado este tiempo se hace difícil la manipulación y el material ya no serviría para implementar la prótesis. Durante la reacción exotérmica el acrílico pasa por varios estados:
  - Filamentoso: La mezcla se comporta como una goma, es difícil manipularla por lo que tiene gran capacidad de

adhesión, si se intenta separar se visualiza como delgadas fibras.

- Elástico: En esta etapa el compuesto es maleable y dúctil, se diferencia de la anterior por la pérdida de brillo, en esta etapa se alcanza la mayor temperatura de reacción.
- Masilla: En esta etapa la mezcla se comporta como una plastilina, y su endurecimiento se nota gradualmente, es la etapa en la que se realiza el moldeo del diente.
- Dureza: Denominada de esta manera por ser la etapa en la que culmina la reacción y comienza a endurecerse y contraerse ilustración 15.

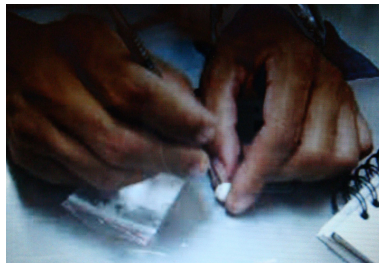


**Ilustración 15** .Prueba de endurecimiento de las 3 marcas elaboradas en la Universidad de Antioquia

Para la manipulación del compuesto se requiere que este finalizando su estado elástico y su temperatura haya disminuido, en este momento se comienza la medición del espacio donde se ubicará la masilla para posteriormente comenzar a tallar la forma del diente. Cualquier descuido en el cambio de estados del acrílico y la no manipulación a tiempo genera el desperdicio de la preparación o la formación irregular y de malas propiedades del diente



- 4. Talla del diente:** El odontólogo midiendo el espacio de la cavidad comienza la talla del material para formar la restauración temporal ilustración 16 el acrílico no se puede endurecer antes que termine la talla, en este paso el acrílico al endurecerse se contrae y disminuye su tamaño, una contracción mayor modificaría la talla realizada por el odontólogo y no amoldaría en el espacio de la cavidad a restaurar



**Ilustración 16.** Talla de diente realizado por el  
**Dr. Guillermo Céspedes**

- 5. Endurecimiento:** Una mala dosificación y mezcla promueven la contracción del acrílico induciendo dolor en el paciente, de igual manera el exceso del líquido no permite la completa solidificación del compuesto, y la falta de este impide la polimerización dejando la mezcla inmanejable en su apariencia de arenilla.

El tiempo necesario para la formación e implantación de la prótesis esta entre los 8 y 13 minutos, tiempo en el cual el material debe de terminar su reacción, y estar con la dureza apropiada para adecuarlo en la cavidad a restaurar. En la ilustración 17 se diagrama el proceso de preparación del acrílico.

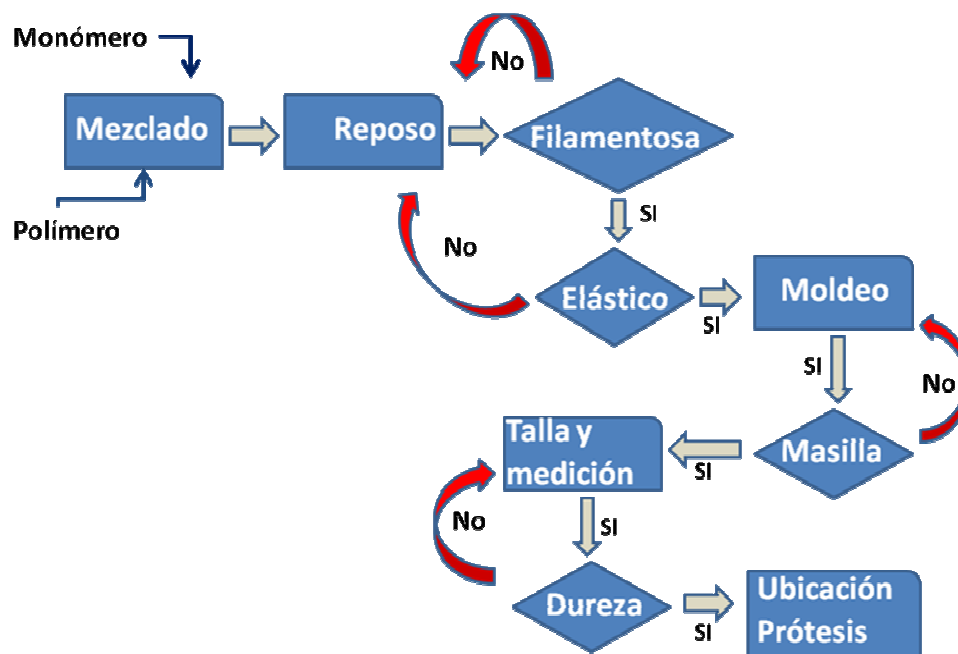


Ilustración 17. Diagrama del proceso manual implementado por la odontología

### 3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

La caracterización de las materia primas se realizó en tres etapas con el estudio del comportamiento esperado con las resinas acrílicas, se dio comienzo con un espectro infrarrojo para comparar la composición de los acrílicos Veracril<sup>®</sup>, Coldpac<sup>®</sup> y el acrílico Practident, utilizando monómero de la empresa de Newstetic, en la segunda etapa se evaluó el tamaño y forma de partículas en las diferentes resinas acrílicas, finalmente se evaluó el comportamiento exotérmico de las reacciones con la construcción de diagramas de calorimetría para cada producto.

#### 3.4.1 Espectroscopía Infrarroja

Para la realización de los espectros infrarrojos de los acrílicos, se realizó una mezcla de KBr puro y acrílico con proporción de 98% a 2% respectivamente, en un mortero hasta obtener un polvo, la mezcla se

coloca en un portador de muestra para preparar pastillas empleando para ello una prensa. La pastilla, que debe ser homogénea y fina, se coloca en una placa para muestras. Es importante evitar la contaminación de la muestra y seguir las indicaciones sobre el uso de la prensa para hacer la pastilla.

La pastilla es llevada al equipo Spectrum Bx FT-IR System de la universidad de Eafit, donde el resultado de los infrarrojos fue arrojado por el programa Spectrum para su posterior análisis. La ilustración 18 es una imagen del equipo donde se realizó la espectroscopía.



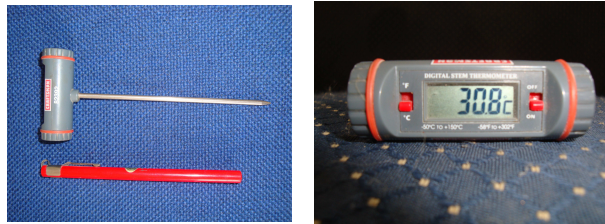
**Ilustración 18. Spectrum Bx FT-IR System**

### **3.4.2 Calorimetria de Resinas Acrílicas**

Se emplearon dos técnicas para la obtención de los datos, la primera con el equipo del laboratorio de materiales de la Universidad de Eafit y otra en la empresa C.I Practident.

La universidad Eafit cuenta con un equipo termopar tipo K compuesto por (Cromo (Ni-Cr) Chromel / Aluminio (aleación de Ni -Al) Alumel con un rango de temperatura de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $+1.372^{\circ}\text{C}$  y una sensibilidad  $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  aprox, el cual posee resistencia a la oxidación, lo que se hace necesario por las propiedades del acrílico, donde el termopar hacen contacto con la muestra preparada con las proporciones de 8 gr de Acrílico en polvo y 0.5 ml de líquido, los datos son tomados en el programa de adquisición de datos de temperatura en el tiempo Labview Instrument (ilustración 22), el problema se encontró al trabajar con este equipo, fue la diferencia entre

velocidades de reacción entre los acrílicos, donde a diferencia del acrílico de Coldpac®, el acrílico Veracril® y el de C.I Practident son más lentos en su tiempo de endurecimiento, por lo tanto los datos del equipo de la Universidad de Eafit se superaba en su tiempo máximo de registro por su alta velocidad de 60 datos/min, por esta razón se utilizó el Termómetro Digital Craftsman 82392 con un rango de temperatura de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$  de la empresa CI Practident, para obtener los datos de estos, para esto se introduce el termómetro dentro de las muestras donde el resultado obtenido es arrojado directamente en la pantalla del termómetro. (ilustración 19 y 20).



**Ilustración 19.** Termómetro Digital Craftsman de la empresa CI Practident



**Ilustración 20.** Montaje con termopar y software en La Universidad Eafit

### **3.4.3 Fotografías de la morfología y homogeneidad de las materias primas en polvo**

En el laboratorio de materiales de la universidad Eafit con el microscopio Stemi SV8 de marca Zeiss, Alemania; se tomaron imágenes fotográficas con la cámara Moticam 2500 de 5M pixel que se encuentra conectada con

el software Motic images plus 2.0, para ver las imágenes de pequeñas porciones de acrílico en polvo de cada marca, las cuales fueron dispersas en una plaqueta plástica de color negro para crear un mayor contraste entre los colores y poder apreciar mejor los gránulos que componen el polímero.



**Ilustración 21. Fotografías con el microscopio Stemi SV8 en la universidad Eafit**

#### **3.4.4 Búsqueda de la Proporción de Mezcla para el acrílico**

Basados en la literatura y la práctica de algunos odontólogos se comenzó un ciclo de pruebas con el fin de evaluar la proporción adecuada entre líquido y monómero donde con sus apreciaciones y experiencias se determinó la proporción recomendada para obtener la resina acrílica para la prótesis. En la ilustración 22 se puede ver el proceso de prueba para la selección de la proporción adecuada.



**Ilustración 22** Pruebas de mezcla con cantidad y proporción  
Utilizando pipetas volumétricas y pesa digital.

Los resultados de las proporciones fueron analizados en la Universidad de Antioquia mediante pruebas cualitativas entre algunos de los docentes de la facultad de odontología.



**Ilustración 23.** Muestra de Masillas realizadas en la U de A

### **3.5 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

La construcción del equipo se realizó en la empresa de CI Practident después de analizar los dos diseño preliminares, hasta llegar a la conclusión de construir el prototipo 2 puesto que es un sistema de fácil manipulación además que su reproducibilidad no es compleja por contar con un sencillo proceso de fabricación.

#### **3.5.1 Diseños preeliminares**

En esta etapa se realiza el análisis de posibles diseños para la construcción del prototipo en cuanto a precisión, material y facilidad de manejo, el proceso inició con un estudio de diferentes métodos para la dosificación de compuestos sólidos y líquidos de acuerdo a su mecánica de fluidos, además de las características encontradas en los anteriores pasos, con los resultados se comienza un proceso de diseños preliminares dibujando bosquejos del equipo y sobre diseñando algunos posibles objetos que podrían ser útiles. De acuerdo a los resultados se va definiendo el estado final del prototipo en el bosquejo, con sus mejoras y restricciones encontradas en el proceso.

El proceso para la creación del diseño preliminar del prototipo surgió de los siguientes pasos:



### **Ideas para dispensar el polvo**

- El primer mecanismo evaluado fue realizado en la universidad de Antioquia con la ayuda del profesor Luis Alberto Zapata, consta de un tubo dentro de una pieza de acrílico que carga y al girar descarga el material.
- El segundo mecanismo se realizó con un empaque compuesto por polipropileno y un dispensador de bola como el que utilizan los jabones líquidos.
- El tercero es una adaptación para acrílico utilizando un dosificador para amalgama muy común para los odontólogos.

### **Idea para dispensar el líquido**

- El cuarto es una micro válvula la cual se puede graduar de acuerdo a la cantidad que se requiere.

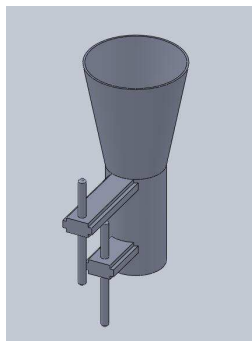
### **Idea para el mezclador**

- Se evaluó el mecanismo utilizado por los cepillos de dientes eléctricos como propuesta para mezcla del acrílico.

**Ilustración 24.** Ideas para la implementación del equipo

Después de analizar lo siguiente se diseñaron los planos para dos ideas de prototipos con los Software Solidwork y CAD CAM CAE (anexo kd) en las cuales se varía el mecanismo de las palancas y las tolvas de almacenamiento.





**Ilustración 25.** Diseño preliminar 1 en solidwork

### **3.5.2 Pasos en el proceso de construcción**

#### **- Compra del material**

Después de poner en contacto polipropileno en el el acrílico y ver que no sufre cambios al estar en contacto con este químico tan agresivo y tampoco interferir con las propiedades del acrílico, además de contar con una buena gama de propiedades entre ellas su utilidad como material para construcción de productos que necesitan asepsia, se llegó a la conclusión de construir la herramienta de dosificación que compone la cámara y las jaladoras con dicho producto. Para esto se compraron 50gr de polipropileno en barra (ilustración 24) en Empaquetaduras y Empaques S.A ubicado en la ciudad de Medellín-Colombia del material con forma cilíndrica que haría mas fácil su fabricación con una valor aproximado de USD\$10 .



**Ilustración 26.** Polipropileno como material para la construcción de jaladoras y cámara del dosificador

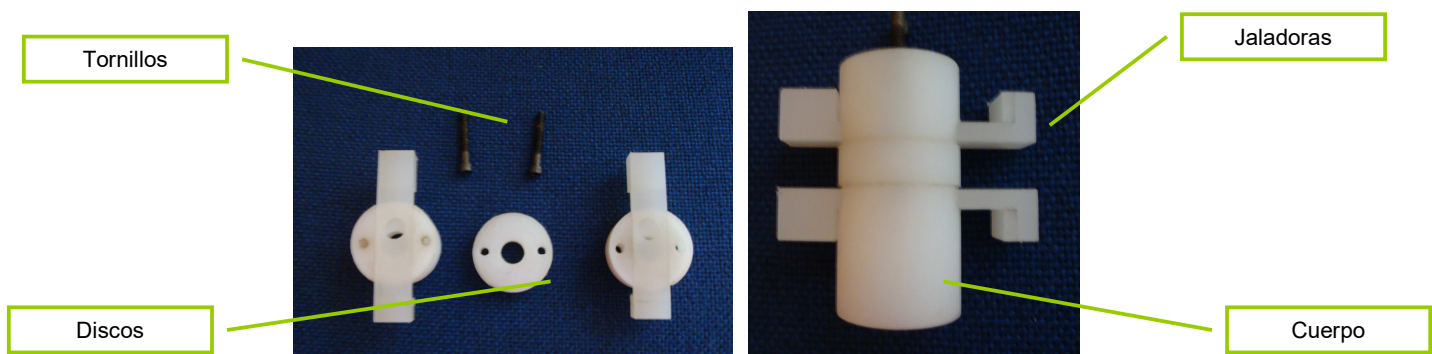
Para los compartimientos de almacenamiento del material del líquido y el polvo se utilizaron dos recipientes, uno de vidrio opaco para el líquido con el fin que no se crearan efectos por luminiscencia y otro de polipropileno para el polvo. (Ilustración 25)



**Ilustración 27** Compartimientos de almacenamiento de PP y vidrio respectivamente

- **Construcción de partes del sistema de dosificación.**

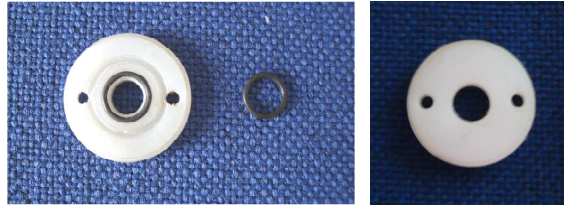
Con los planos realizados en CAD CAM y el material, se procedió a la realización de las partes del mecanismo y de dosificación, primero de la cámara compuesta por tres discos: superior, intermedio e inferior; y las jaladoras de carga y descarga Ilustración 26, para esto se utilizaron los equipos de la fresadora y el torno de la empresa CI Pactident.



**Ilustración 28 a) Partes del dosificador b) Dosificador sujetado con dos tornillos**

Este sistema fue implementado para el desarrollo de ambos compartimientos líquido y polvo puesto que las diferencias que hay entre

ambos es el diámetro y espesor del disco intermedio donde se realiza la carga de la medida exacta y los dos O-ring dispuestos en el disco del liquido (ilustración 27) para el control de la fluidez del monómero.

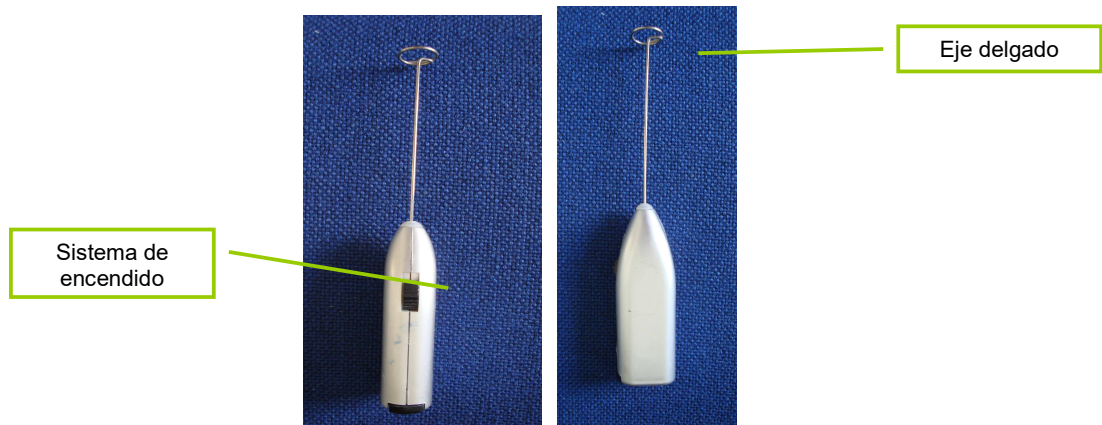


**Ilustración 29. Discos intermedios del líquido con O-ring y disco del polvo respectivamente.**

#### - **Mezclador**

El sistema de mezclado (Ilustración 28) consiste en un equipo de uso doméstico de baja revoluciones disponible en el mercado para la mezcla de sustancias, consiste en un eje delgado con una curvatura en su final con un sistema de encendido controlado por un interruptor de corriente suministrada por dos baterías.

La única modificación que se le realizó al producto, fue la eliminación de un espiral que se encontraba en la curvatura final del alambre que tenía como fin generar espuma a la mezcla, pero como esto no hace parte de nuestro proceso se removió sin ninguna dificultad obteniendo muy buen resultado para la mezcla de la resina acrílica.

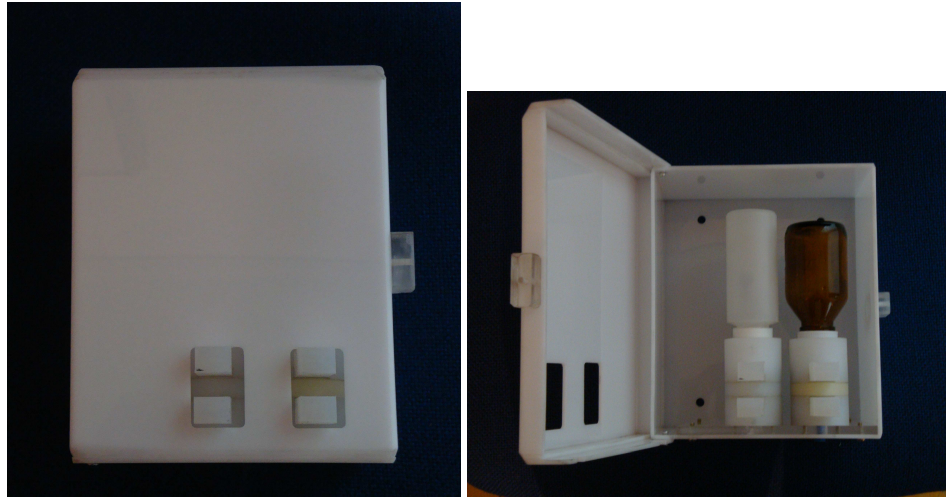


**Ilustración 30.** Mezclador con vista de lado y de frente

Es importante resaltar que la selección del mezclador se fundamentó en que es funcionalmente viable y cumple el objetivo y que es un instrumento que hay disponible en el mercado.

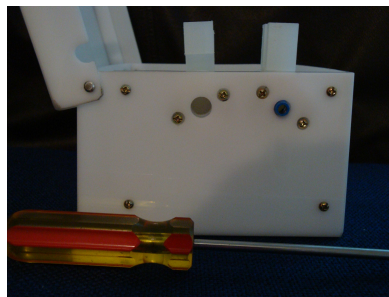
- **Estructura física para ensamble**

Con el fin de obtener un dispositivo de soporte funcional y que se acoplara al sistema, se creó un compartiendo con medidas y especificaciones en la empresa Acrílicos de Antioquia (ilustración 29) con un material acrílico color blanco.



**Ilustración 31. Montaje de dosificación en acrílico**

El sistema fue sujetado por medio de tornillos a la base (ilustración 30), además se realizó la perforación de 4 agujeros en la parte posterior de la estructura, con el fin de que este se sujete en una pared mediante tornillos que ingresan en el equipo por los orificios posteriores. Se incorporó una boquilla en la salida del líquido que permitiera un mejor desplazamiento del fluido.

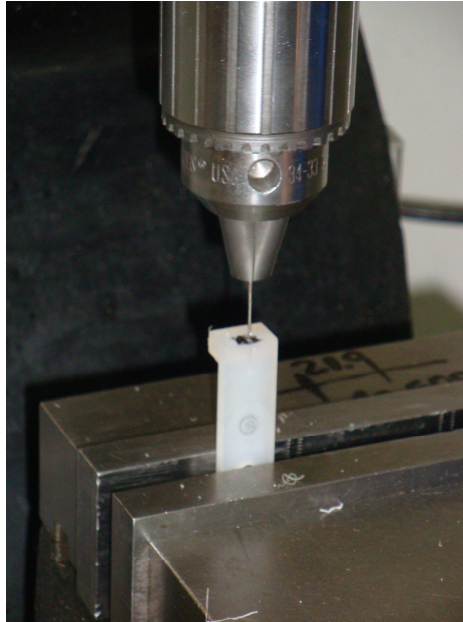


**Ilustración 32. Ensamble de estructura con tornillos**

#### **- Comprobación de funcionamiento del equipo**

En la manipulación del equipo las proporciones esperadas fueron dosificadas como fue estipulado con el diseño preliminar, pero el tiempo de carga para el líquido era muy lento por la presión que se creaba dentro del sistema, donde la fluidez del líquido era impedido por las burbujas que se formaban, por lo cual se realizó una modificación al dosificador del líquido

con una pequeña perforación en la jaladora de carga (ilustración 31) que cumplió la función de capilar para controlar la presión ejercida en el disco intermedio.



**Ilustración 33. Perforación en la jaladora de carga para el líquido en la fresador de CI Practident**

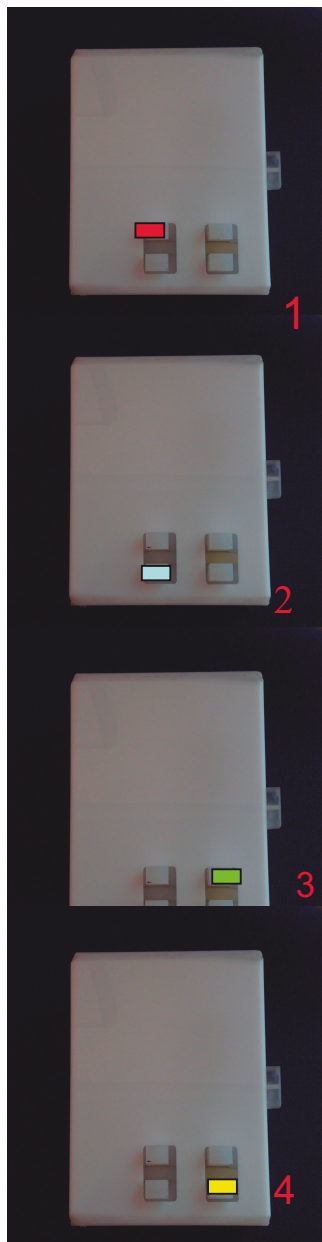
Esta perforación solucionó el problema de carga con líquido, agilizando la operación asegurando un escape para las burbujas que se formaban y mejorando la exactitud de la dosificación.



### 3.6 FICHA TÉCNICA DE OPERACIÓN

#### Prototipo de Resinas Acrílicas para Elaboración de Dientes Temporales

*Indicaciones de uso (Ver ilustración 32)*



- El dispositivo cuenta con 4 cavidades para ser instalado en una pared, debe quedar bien ajustado para impedir su movimiento
- Cada dosificación corresponde a una cantidad suficiente para la elaboración de una cavidad, si se requiere más de una dosificación se repite el mecanismo cuantas veces sea necesario.
- La medida bruta de cada compartimiento es de 66 cc para el líquido y 50 gr para el polvo, la carga de estos compartimientos no debe ser más del 90% esto quiere decir 60 cc para el líquido y 45 gr para el polvo.
- Tenga en cuenta en revisar que el compartimiento se encuentre completamente cerrado y la carga del material sea suficiente, se recomienda trabajar con un mínimo de 30% del material en la carga.

#### **Primera Carga polvo:**

- Lleve hacia adelante la primera palanca (color rojo) y espere que cargue por lo menos 15 segundos, luego cierre en dirección contraria.
- Utilice un “dappen” para recibir la carga que va a ser dispensada por la parte inferior del equipo en la salida del polvo.
- Proceda a abrir la segunda palanca (color azul) y recibir el polvo en el “dappen”, cuando la salida del compartimiento haya terminado de salir cierre de nuevo.

**Ilustración 34. Indicaciones de uso por pasos**

**Segunda carga Líquido:**

- Lleve hacia adelante la tercera palanca (color verde) y espere que cargue por lo menos 15 segundos, luego cierre en dirección contraria.
- Utilice el “dappen” donde se encuentra el polvo dosificado anteriormente, para recibir la carga que va a ser dispensada por la parte inferior del equipo en la salida del líquido.
- Proceda a abrir la cuarta palanca (color amarillo) y recibir el líquido en el “dappen”, cuando el líquido del compartimiento haya terminado de salir cierre de nuevo en dirección contraria.

**Mezcla:**

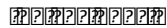
- Después de haber llenado el “dappen” con los dos productos pasar de inmediato al mezclador que se encuentra al lado derecho del equipo hasta que la mezcla se vea homogénea
- Limpiar la parte del mezclador que estuvo en contacto con el acrílico antes de que se seque.



### 3.7 FICHA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO

#### Prototipo de Resinas Acrílicas para Elaboración de Dientes Temporales

---

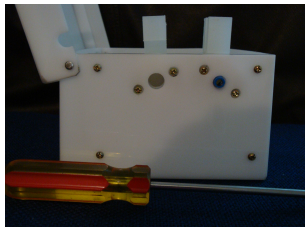


Se recomienda realizar una limpieza del dispositivo dependiendo de su uso, si es diaria cada dos cargas de material, si no es el caso cada 6 meses. En las ilustraciones 33 hasta 37, se muestran las indicaciones a seguir.



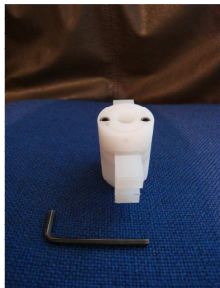
**Ilustración 35. Retirar compartimientos**

1. Retirar cuidadosamente los compartimientos del líquido y del polvo quedando estos al salir con sus respectivas tapas.



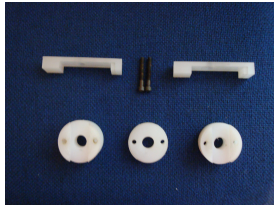
**Ilustración 36. Retirar Tornillos**

2. Retirar los tornillos con un destornillador de estrella



3. Desarmar la base dosificadora removiendo los dos tornillos que sujetan las 3 piezas para poderlas separar aplicando un poco de fuerza

**Ilustración 37. Desarmar Dosificadores**



4. Limpiar los compartimientos con agua y jabón

5. Dejar secar totalmente

6.

**Ilustración 38. Limpieza partes**



7. Armar de nuevo el sistema ajustando las tres piezas y asegurándolo con los tronillos

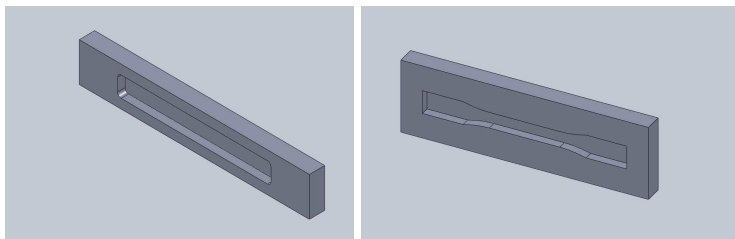
**Ilustración 39. Armado del sistema**

### **3.8 ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DE MUESTRAS**

Pruebas mecánicas realizadas en el laboratorio de materiales de la universidad EAFIT : Modulo de Flexión, Tensión, Dureza, Contracción y Compresión, además pruebas físicas: Densidad y Porosidad, estas pruebas fueron realizadas con probetas construidas según las normas ASTM de las mezclas realizada en el prototipo y la mezcla manual. Los miembros de ASTM, que representan a productores, usuarios, consumidores, el gobierno y el mundo académico de más de 100 países, desarrollan más de las 11,000 normas ASTM que se pueden encontrar en el Annual Book of ASTM Standards, de 77 volúmenes.

#### **3.8.1 Construcción de moldes para Probetas de Acrílico para Pruebas Mecánicas**

Para realizar las pruebas mecánicas según las normas ASTM de tensión, flexión y compresión a las muestras de acrílico, se construyeron los moldes con dos diferentes mecanismos, los moldes de tensión y flexión con el programa Solidworks (Ilustración 38) y CAD CAM para ser maquinados en la CNC AKIRA-SEIKI Performa SR2 XP (anexo 4), el molde para las probetas de compresión fue realizado en el torno EASSON ES-8, ambos equipos pertenecientes a la empresa C.I Practident S.A. (Ilustración 39)



**Ilustración 40. Modelos en Solidwork de molde para tracción y flexión respectivamente**



a) CNC AKIRA –SEIKE



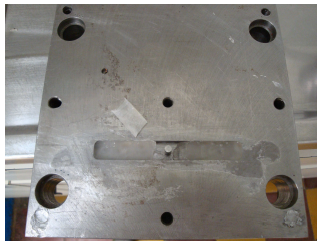
b) Torno Easson



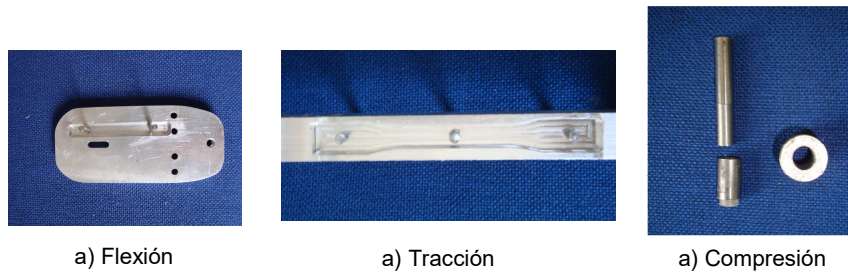
c) Fresador Bridgport

**Ilustración 41. Maquinas para construcción de moldes**

El primer material con que se construyo el molde de flexión fue de Acero de medio carbono el cual no dio el resultado esperado (ilustración 40), se instalaron 3 botadores y se aplico desmoldante, pero aun así la pieza de acrílico quedaba incrustada dentro del molde, por esta razón se revalúo el material y se remplazo por Duraluminio con el cual la probeta no se quebraba al sacarla del molde dando un excelente resultado para los moldes de Tensión y flexión, el molde de Compresión fue torneado en un tubo pequeño de acero (Ilustración 41).



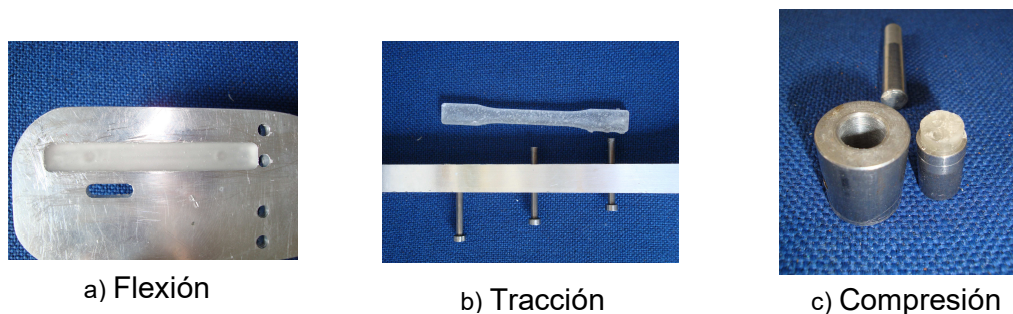
**Ilustración 42. Molde de flexión en acero medio carbono**



**Ilustración 43. Moldes de Probetas**

### 3.8.2 Creación de probetas

Se realizaron probetas (Ilustración 42) para cada marca con mezcla manual y mezcla de prototipo, la mezcla manual fue realizada de acuerdo a las especificaciones que se recolectaron de cómo se prepara hoy en día la mezcla en los consultorios por los odontólogos o sus asistentes. La mezcla del prototipo fue dosificada varias veces hasta llegar a la cantidad requerida pero siempre manejando el proceso establecido.



**Ilustración 44. Probetas de acrílico para pruebas**

Las probetas fueron rectificadas con una pulida en el laboratorio de materiales con el fin de obtener mejores resultados (ilustración 43), ya que los desperfectos podrían generar alguna fisura de la pieza en partes que no se esperaban.



**Ilustración 45. Rectificación con pulida de probetas de acrílico**

### **3.8.3 Medición Densidad**

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de Suelos, concretos y pavimentos de la universidad de EAFIT se utilizó la técnica de medición de densidad por medio de desplazamiento de volumen, esta técnica consta de una pesa electrónica que se encuentra conectada con un alambre a un recipiente que se encuentra dentro del agua, utilizando el principio hidrostático donde la densidad es la relación del peso [g] con el volumen [ $\text{cm}^3$ ]. El peso se obtiene pesando el material de la prueba en el aire. El volumen se determina con el impulso [g] de una prueba de material sumergida en un líquido.





**Ilustración 46.** Balanza electrónica conectada con recipiente sumergido en agua

#### **3.8.4 Prueba de Dureza**

La dureza fue medida con un durómetro para realizar mediciones de dureza en la escala Shore-D, para materiales plásticos duros en general marca Bareiss 7938, Alemania modelo 5023-2, con un rango máximo de 100 HD y resolución de 0.2 HD del laboratorio de materiales de la universidad EAFIT, con una repetición de tres veces por muestra en puntos equidistantes de cada probeta como se muestra en la ilustración 45.



**Ilustración 47.** Prueba de dureza con el durómetro Bareiss

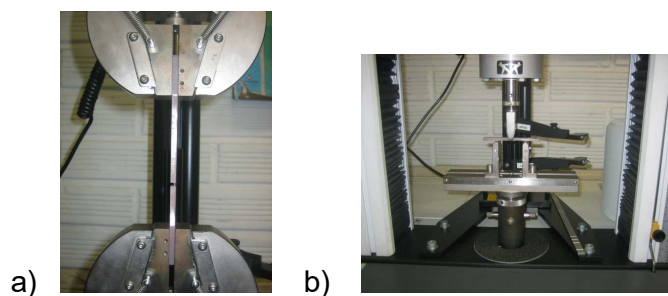


### 3.8.5 Prueba de Tracción

La prueba se realizó bajo los parámetros establecidos en la norma ASTM D 638-72 "Standard Method of test for tensile properties of plastic" con medidas de 7mm de espesor y estándar tipo 1 prueba, con una velocidad de 5mm/min hasta fracturar la pieza, en el laboratorio de materiales de la Universidad EAFIT con la máquina universal de ensayos Instron.

### 3.8.6 Prueba de Flexión

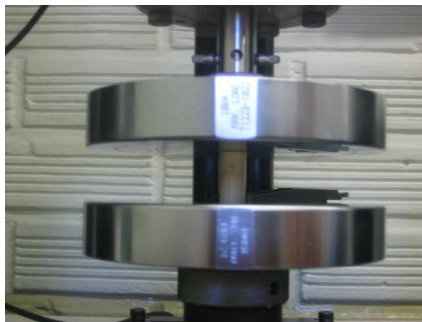
La prueba se realizó bajo los parámetros establecidos en la norma ASTM D 790 "Standard Method of test for flexural properties of plastic" con medidas de 4.8 mm x 13mm x 100mm, con separación de soporte de 80mm y velocidad de movimiento en la cabeza cruzada de 2mm/min en el laboratorio de materiales de la Universidad EAFIT con la máquina universal de ensayos marca Instron. La ilustración 46 muestra los ensayos realizados.



**Ilustración 48. Pruebas de a) tracción y b) Flexión en máquina universal**

### 3.8.7 Prueba de Compresión

La prueba se realizó bajo los parámetros establecidos en la norma ASTM D 695 “Standard Method of test for compressive properties of rigid plastic” con medidas de 12.7mm de diámetro y 25.4mm de cilindro, con velocidad de 1.3mm/min en el laboratorio de materiales de la Universidad EAFIT con la máquina universal de ensayos Instron. La ilustración 47 muestra la prueba realizada.



a) Prueba de Compresión



b) Material Comprimido

**Ilustración 49. Prueba de compresión**

### 3.8.8 Prueba de Contracción

Se determinó con la diferencia de medidas con un calibrador electrónico del espesor del molde de tracción y con las medidas de la probeta de tensión ya endurecida.

### 3.8.9 Apreciación Porosidad de la Muestra

La apreciación de la porosidad de las 3 marcas productoras de acrílico con mezcla manual y mezcla del prototipo se realizó con imágenes tomadas de la misma manera que en el punto 1.4.3 con equipos de la universidad

EAFIT, las muestras analizadas ilustración 48 fueron las mismas probetas con las que se trabajo para la prueba de flexión seccionadas en 5 partes iguales de cada una para su mejor apreciación.



**Ilustración 50. Muetsras de acrílico para apreciación de porosidad**

## **4 ANALISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 DEFINICIÓN DE PASOS**

En la recolección de información realizada en La Facultad de Odontología de La Universidad de Antioquia, se identificaron restricciones, sugerencias y mejoras al proceso manual de preparación de la masilla de acrílico para la preparación de la prótesis.

El tiempo de consulta odontológica depende del tiempo necesario para la preparación y consolidación de la prótesis temporal, este es un factor a tener en cuenta ya que las citas odontológicas deben ser medidas y cumplidas en el tiempo programado y un desfase genera inconformidad en el paciente y un espacio apretado para la labor del odontólogo, lograr tiempos más estándares de preparación y formación del diente temporal, sería una mejoría en las citas.

Con respecto al comportamiento de las materias primas, se ha encontrado en la práctica odontológica que el uso de los componentes se hace complicado por varias razones:

- La manipulación del polímero al ser un polvo tan fino genera inconvenientes puesto que se dispersa en el aire fácilmente y se pierde cierta cantidad en el aire, lo que afecta la proporción de mezclado.
- El monómero líquido dentro de sus componentes tiene un vehículo y un catalizador, los cuales permiten la agilidad en la reacción, el metilmetacrilato es un líquido volátil razón por la cual el vehículo se evapora con facilidad y se disminuye la capacidad reaccionante,

este detalle impacta en el tiempo de polimerización y en la calidad del compuesto. En la práctica profesional, el líquido se utiliza desde el mismo recipiente donde es adquirido, en la práctica este es destapado y tapado regularmente y este ejercicio hace que valla perdiendo las propiedades, en los consultorios se desecha el líquido en la mitad de su uso.

- Aún no se ha estandarizado la manera de mezcla de ambos componentes, en algunos casos se aprueba que se ingrese el líquido al polvo y en otros el polvo al líquido, después de mezclados los componentes no es conveniente adicionar más cantidad de polvo o líquido puesto que interfiere en la reacción.

## 4.2 ESPECTRO INFRARROJO

La ilustración 49 muestra los resultados arrojados por el infrarrojo.

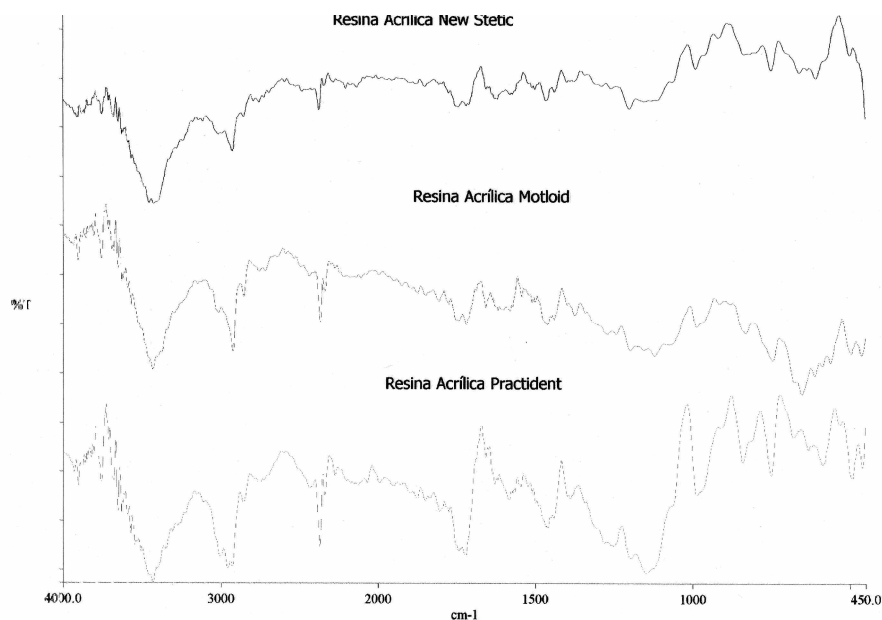


Ilustración 51. Resultado espectro infrarrojo materiales

Realizando la prueba de infrarrojo sobre los tres productos acrílicos al con el fin de identificar diferencias significativas en los grupos funcionales de su composición.

Partiendo del análisis de los espectros arrojados se puede apreciar un comportamiento similar en los picos de los tres componentes, la diferencia aparente radica en la longitud o amplitud de algunas ondas y en la resina acrílica Coldpac marca Motloid al final del espectro, donde su comportamiento es descendente mientras las otras dos resinas se comportan ascendentemente pero esto solo se debe a errores del equipo y no arroja ningún tipo de dato importante.

Se encontró que los tres compuestos a trabajar contienen una composición muy similar en sus grupos funcionales, y se concluye que el espectro infrarrojo puede dar una idea de las diferencias entre grupos funcionales pero no arroja un resultado completo y detallado sobre la composición de un producto, sin embargo se infiere que la poca diferencia apreciada en la composición de estos tres productos no afectará el comportamiento físico o químico de uno con relación a los otros. Pero deja claro que se está trabajando con acrílicos con las mismas características y que su comportamiento dentro de los compartimientos del equipo debe ser similar.

#### **4.3 CURVAS DE CALOR**

Los diagramas de calorimetría describen el comportamiento de la reacción en función del cambio de temperatura, como se ha mencionado anteriormente la reacción de polimerización del metilmetacrilato es exotérmica, dependiendo de la temperatura que va alcanzando la muestra ésta va cambiando entre sus estados, filamentoso, elástico, masilla o

dureza, los diagramas de exotermia mostraran el tiempo total en de reacción, temperaturas alcanzadas.

#### 4.3.1 Curva de Calor Veracryl®

En la Ilustración 50 se grafica el comportamiento exotérmico de la muestra Veracryl®, la prueba fue realizada a temperatura ambiente alrededor de los 26°C.

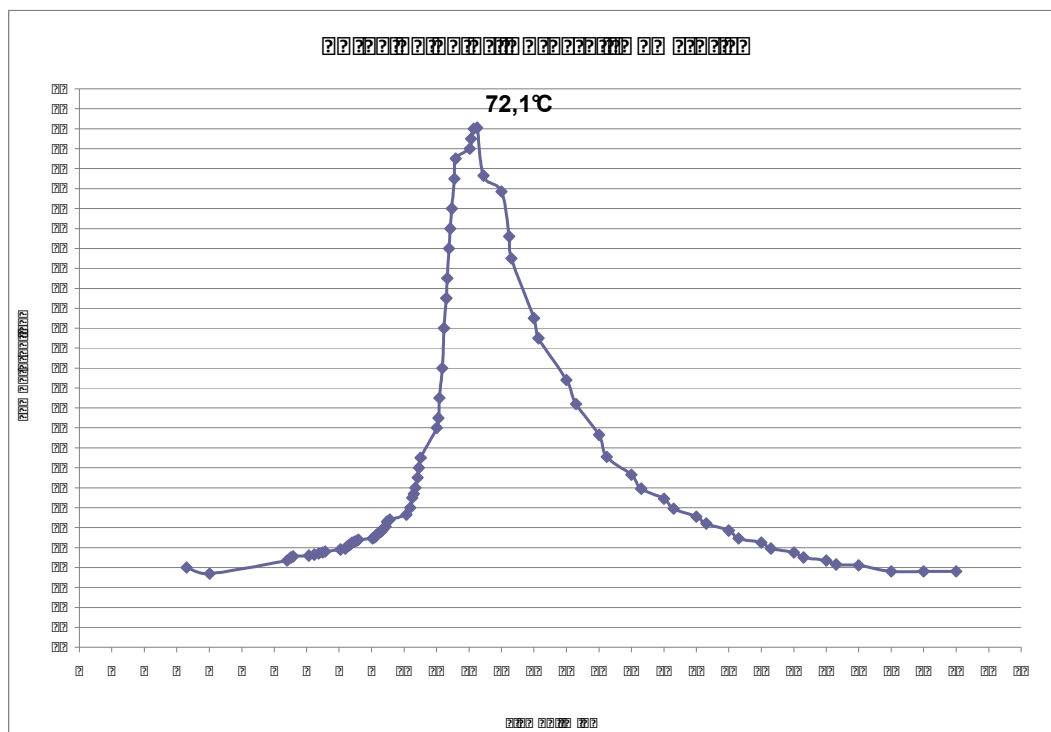


Ilustración 52. Curva de Calor Veracryl®

La temperatura máxima alcanzada en la reacción es 72,1°C, a esta temperatura se hace compleja la manipulación del material, y esta temperatura se da a los 8 minutos después de iniciar la reacción. A partir de los 38°C la temperatura de la reacción comienza su proceso de estabilización lo cual nos indica que la mezcla esta en su estado de

transición entre masilla y dureza, es decir se puede estar moldeando y tallando.

La culminación del proceso se da a los 27 minutos según el comportamiento de la curva de calor, pero realmente en el momento que la temperatura se estabiliza y alcanza una temperatura moderada entre 30°C y 40°C, puede tomarse como finalizada la reacción para la imposición de la prótesis.

#### 4.3.2 Curva de Calor Practident®

La Ilustración 51 describe el comportamiento exotérmico de la reacción de polimerización de la muestra Practident®.

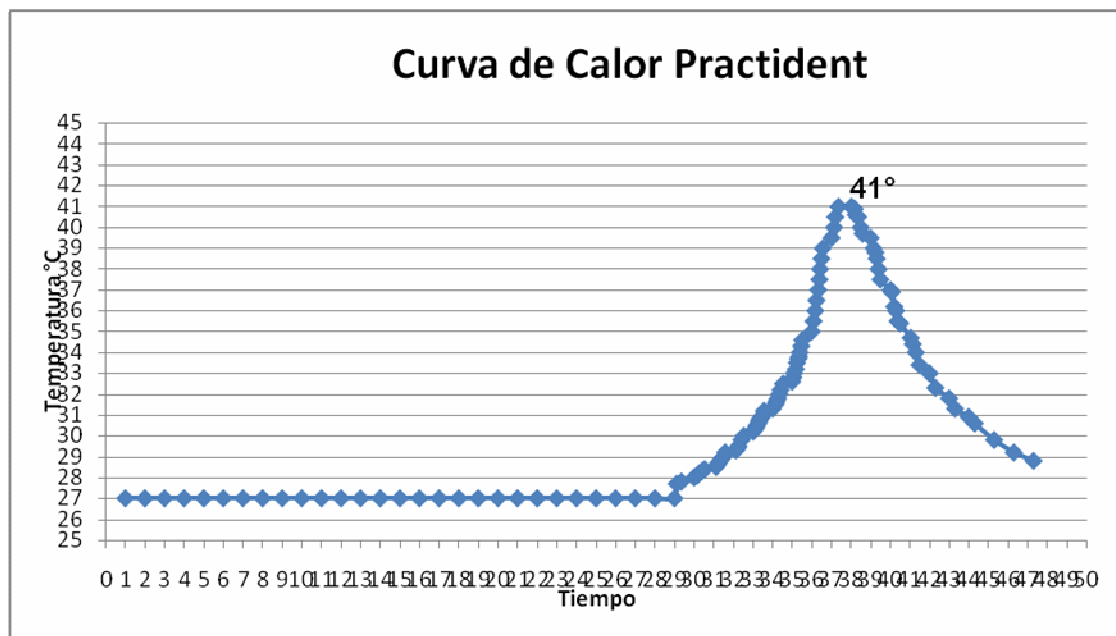


Ilustración 53. Gráfica curva de calor Practident

En el comportamiento exotérmico de la reacción se aprecia que la temperatura permanece constante desde un inicio hasta los 29 minutos, donde comienza a aumentar su temperatura de reacción, esta situación ocurre por que el acrílico Practident es un polímero termopolimerizable, necesita calor para iniciar la reacción



El tiempo total en que culmina la reacción es de 48 minutos, 20 minutos desde que inicio la reacción. Alcanza su mayor temperatura de 41°C a los 38 minutos.

Se visualiza un comportamiento energético similar al la gráfica calorimétrica realizada a partir de la muestra Veracryl®, con un tiempo en el que no se registro cambio de temperatura.

#### 4.3.3 Calorimetría Coldpac

En la Ilustración 52 se aprecia el comportamiento térmico de la muestra realizada con la muestra Coldpac® durante la reacción de polimerización.

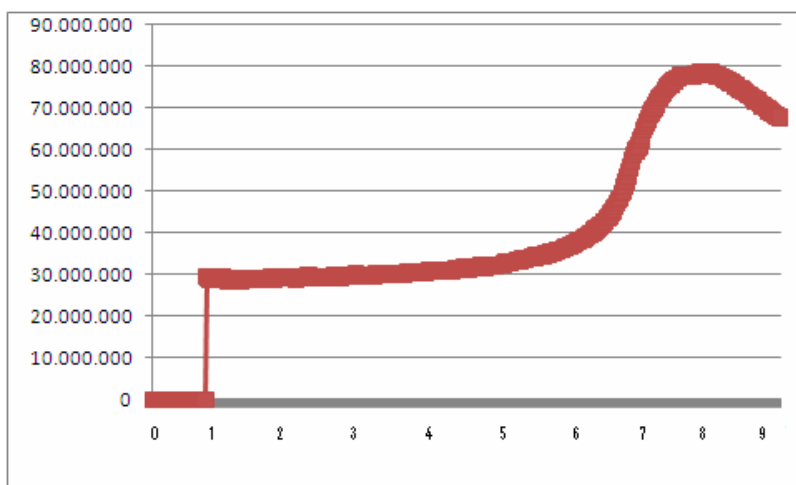


Ilustración 54. Curva de calor Coldpac

La diferencia en la forma de la gráfica con respecto a las ilustraciones 51 y 52 es la obtención de los datos, puesto que la medición del calor para la muestra Coldpac fue hecho con un equipo diferente.

La temperatura máxima alcanzada en la reacción de polimerización para Coldpac se acerca a los 80°C, y es la temperatura más alta alcanzada en las mediciones de calor de reacción.

En las calorimetrías realizadas para cada tipo de producto se encuentra que las reacciones son exotérmicas, y que el calor máximo alcanzado por Veracryl y Coldpac esta entre los 70°C y 80°C, mien tras para Practident sólo alcanza a llegar a los 41°C, esta diferencia de la temperatura máxima alcanzada en Practident se esperaba puesto que este producto es termopolimerizable y necesita que sea suministrado calor para concluir la reacción la cual se manifiesta con el endurecimiento del material.

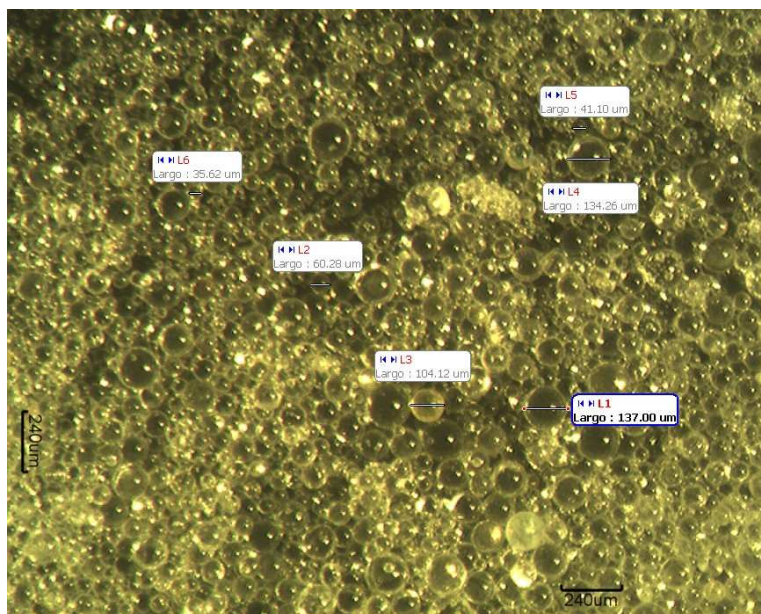
#### **4.4 MORFOLOGÍA**

Las 3 marcas de polimetilmetacrilato fueron analizadas mediante observaciones al microscopio y en ellas se aprecia la forma y tamaño de las micropartículas, la finalidad que se tiene es apreciar la homogeneidad en las partículas que se manifiesta en el comportamiento de fluidez, adherencia, volatilidad y formación de grumos así como en la velocidad y tiempo de reacción. El contacto que las partículas tendrán con el monómero como agente polimerizante resulta en función de su área de contacto, una partícula de menor tamaño reacciona al estar en presencia del monómero porque el monómero puede bañarla completamente.

El tamaño y la homogeneidad de las partículas dependen del método de obtención y separación del material. La rigurosidad de su preparación impacta positivamente en la forma sus partículas.

##### **4.4.1 Morfología Veracryl®**

La ilustración 53 es una foto tomada al microscopio con un aumento de 6X del Polimetilmetacrilato Veracryl.

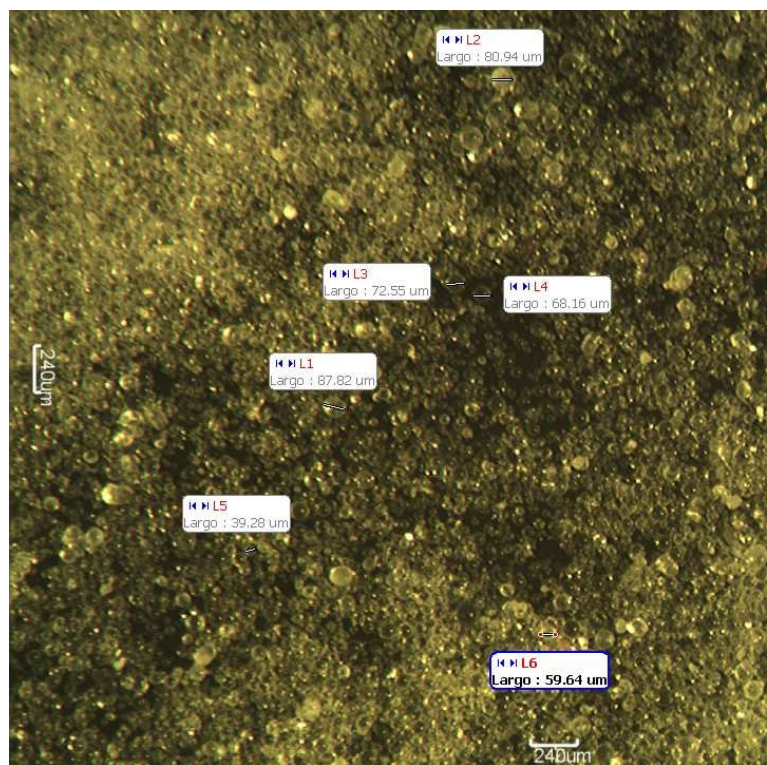


**Ilustración 55. Morfología Veracryl®**

Sus partículas son esféricas y se logran apreciar diferentes tamaños los cuales pueden estar entre 34 micrómetros, y 137 micrómetros.

#### **4.4.2 Morfología Coldpac**

La Ilustración 54 es una foto tomada al microscopio con un aumento de 6X del Polimetilmetacrilato Coldpac.

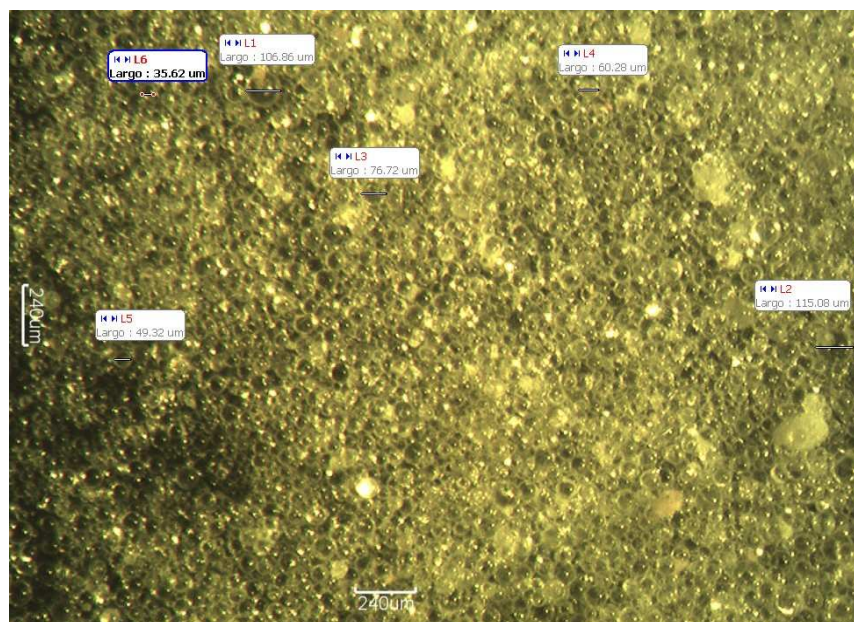


**Ilustración 56. Morfología Coldpac**

El tamaño de sus partículas esféricas se encuentra entre 38 micrómetros y 89 micrómetros,

#### **4.4.3 Morfología Practident**

La Ilustración 55 es una foto tomada al microscopio con un aumento de 6X del Polimetilmetacrilato Practident.



**Ilustración 57. Morfología Practident**

El tamaño de sus partículas esféricas se encuentra entre 34 micrómetros y 116. micrómetros.

Dentro de las imágenes tomadas del microscopio, el producto que tiene mayor homogeneidad en el tamaño de sus partículas en Coldpac y aquel que tiene una menor homogeneidad reflejada en la mayor diferencia en tamaños de partículas en Veracryl. Las formas de las partículas son esféricas para todos los productos analizados y no se perciben a simple vista partículas de apreciable tamaño o grumos. En la tabla 4 se consolidan los mayores y menores tamaños de partícula para cada producto

Tamaño Partícula (µm)		
	Pequeña	Grande
Veracryl	34	137
Coldpac	38	89
Practident	34	116

**Tabla 5. Consolidación tamaños mayores y menores de partículas**

#### 4.5 DISEÑO DE EXPERIMENTOS COMPLETAMENTE ALEATORIO.

Mediante el software Statgraphics plus 5.1 se compararon las mezclas manuales y las mezclas obtenidas en el prototipo, con el fin de evaluar los diferentes resultados encontrados en las pruebas hechas a las variables de respuesta, los ensayos se realizaron por triplicado en cada variable para 3 tipos de probetas construidas similarmente.

##### **Variables de respuesta:**

- Tracción
- Dureza
- Compresión
- Flexión
- Densidad
- Contracción

La lectura de los resultados del Software Stargraphics se aprecian en la tabla ANOVA basada en la comparación de la variabilidad media entre los grupos y subgrupos, es necesario para su interpretación contar con una hipótesis nula ( $H_0$ ) y una Hipótesis alterna ( $H_a$ ) :

- **$H_0$ :** Todas las medias son iguales, es decir, no existen diferencias significativas entre los datos analizados.
- **$H_a$ :** alguna de las medias es diferente, lo que quiere decir que sí existen diferencias significativas.

**Estas hipótesis depende de parámetro P-valor donde:**

$P_{\text{valor}} > 0.05,$	Se acepta $H_0$
$P_{\text{valor}} \leq 0.05$	Se rechaza $H_0$



El p-valor informa el grado de compatibilidad de los datos obtenidos con la hipótesis nula, este valor comprueba la importancia estadística de cada uno de los factores. La idea es comprobar si el p-valor para la mezcla y marca son superiores a 0.05, donde estos factores tendrían efecto estadísticamente significativo en porcentaje (%) mezcla para un nivel de confianza del 95,0%.

#### **4.5.1 ANÁLISIS DE PRUEBAS MECÁNICAS**

Las propiedades mecánicas del Acrílico a evaluar, buscan medir el desempeño que tendrá este material en la boca, donde estará sometido a todo tipo de fuerzas provenientes de la masticación, fuerzas mandibulares, y contacto con materiales u objetos duros, resistentes y punzantes, además de golpes e impactos externos. Las pruebas realizadas han contemplado fuerzas importantes que se ejercen generalmente sobre un diente.

Se calculan los porcentajes de cambio de dureza entre la probeta obtenida con la mezcla del prototipo con respecto a la probeta obtenida de la mezcla manual, y así conocer el porcentaje de incremento o disminución de la propiedad con la utilización del dispositivo:

$$\% \text{ De Cambio Propiedad} = (\text{Dato Promedio Prototipo} - \text{Dato Promedio Manual}) / \text{Dato Promedio Manual} \times 100$$

Con el fin de conocer la homogeneidad de las propiedades de las muestras de acrílico por cada tipo de preparación, para cada ensayo mecánico se calcula la variación de los datos arrojados:

$$\% \text{ De Variación} = (\text{Dato Mayor} - \text{Dato Menor}) / \text{Dato Menor} \times 100$$

#### 4.5.1.1 Dureza

La dureza fue medida con el Durómetro Bareiss, la medición se realizó a las probetas de tensión, se hicieron 3 ensayos en 3 puntos diferentes a 3 probetas similares para cada tipo de mezcla, manual y prototipo, en total 9 resultados por mezcla.

La Ilustración 56 muestra la gráfica con los resultados de los Acrílicos analizados.

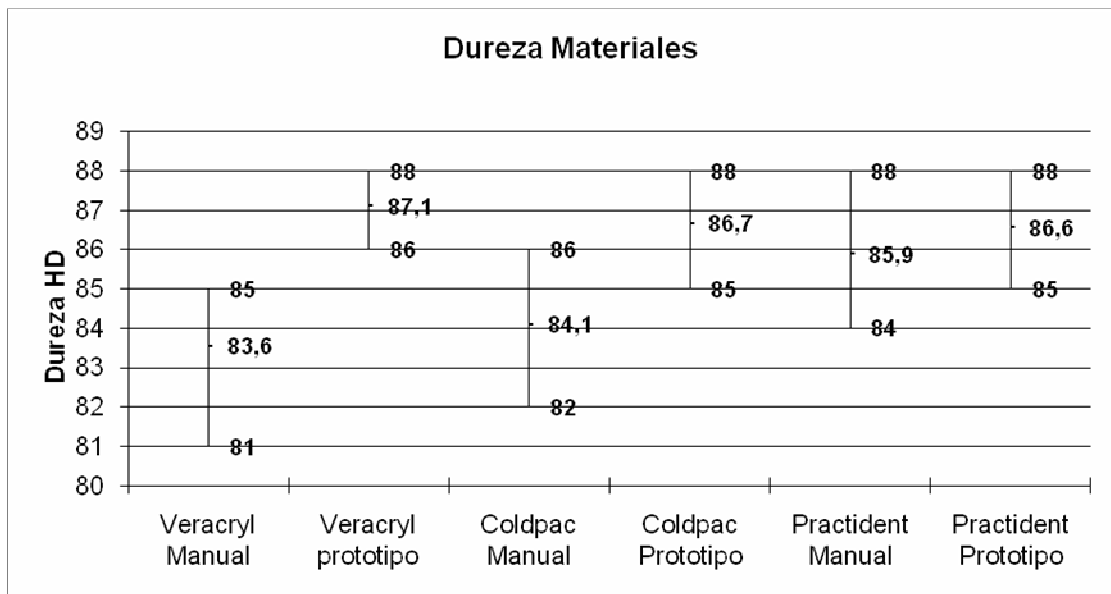


Ilustración 58. Grafica resultados dureza materiales

En la ilustración 57 se aprecian los porcentajes de desviación promedio de dureza entre la preparación manual y preparación mediante el prototipo para cada producto, teniendo en cuenta que en todas esta se destaca positivamente la dureza de las mezclas hechas con el prototipo.



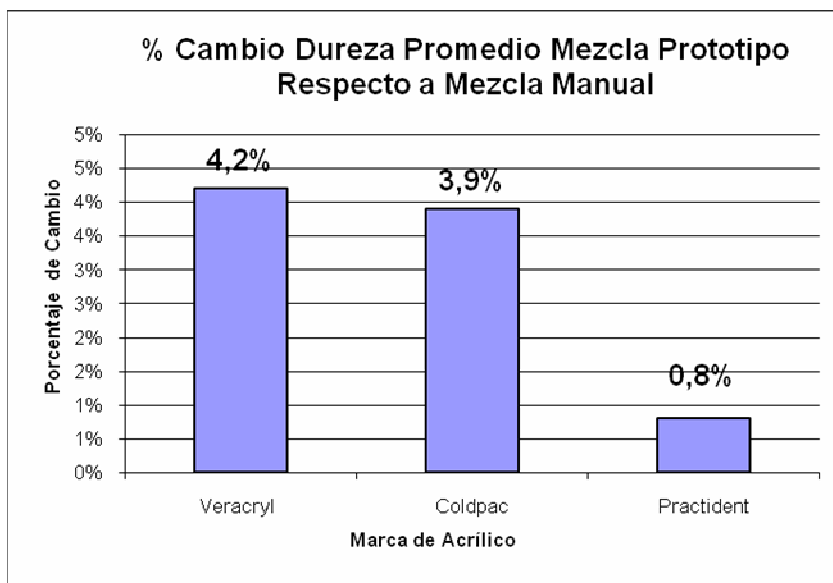


Ilustración 59. Desviación promedio de dureza según mezcla para cada material

En la ilustración 58 se relacionan los porcentajes de desviación entre los ensayos realizados para cada tipo de material según su mezcla.

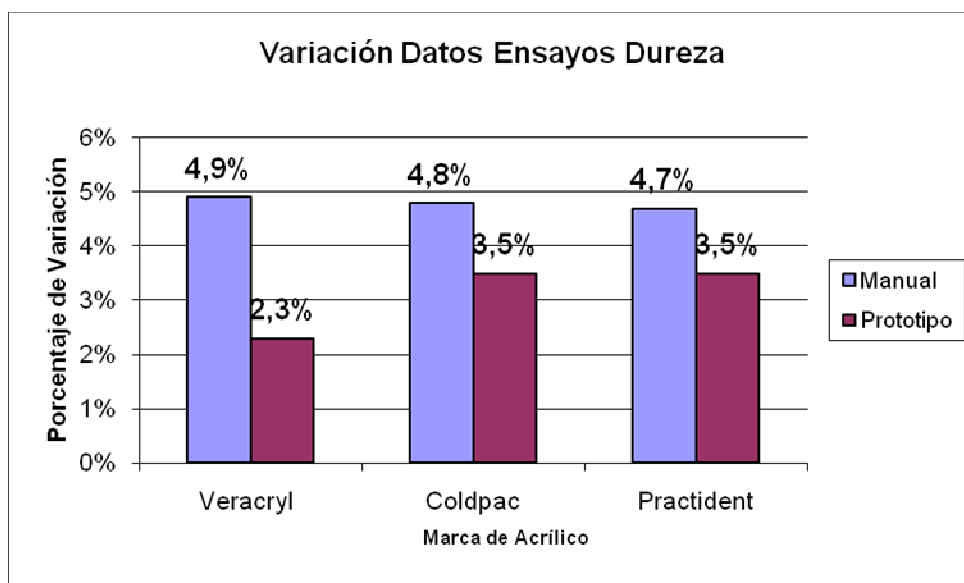


Ilustración 60. Porcentaje de desviación para cada tipo de muestra

Los menores porcentajes de desviación entre 2,3% y 3,5% son aquellas diferencias entre mezclas hechas con el prototipo, y las desviaciones mayores cercanas a 5% son las arrojadas en la prueba por la mezcla obtenida manualmente.

Se hacen 3 observaciones de los resultados obtenidos del ensayo de dureza:

- La dureza de los materiales obtenidos del prototipo es mayor que la dureza de los materiales cuya mezcla se realizó manualmente.
- La relación entre las durezas de las probetas se muestra más constante en aquellas obtenidas del prototipo; para las realizadas manualmente arrojan un promedio variante.
- El rango de durezas en las mezclas obtenidas del prototipo es menor con relación a las durezas de aquellas muestras preparadas manualmente.

Al realizar el diseño de experimentos completamente aleatorio de esta prueba se obtuvo la siguiente tabla ANOVA:

**Tabla 6. ANOVA para dureza**

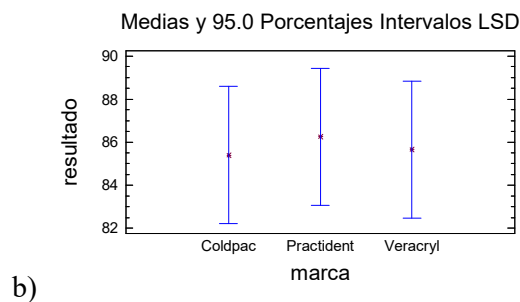
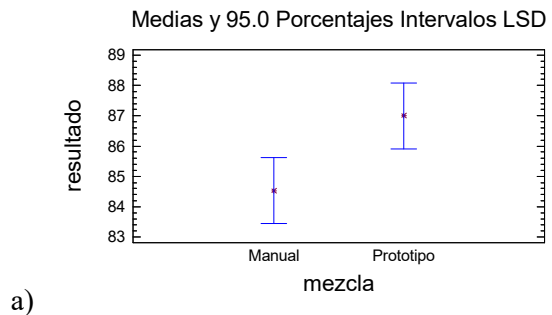
Fuente	Suma de cuadrados		GL	Cociente-F	P-Valor
			Cuadrado Medio		
<hr/>					
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: mezcla	9.12667	1	9.12667	9.96	0.0343
RESIDUOS	3.66667	4	0.916667		
<hr/>					
TOTAL (CORREGIDO)	12.7933	5			
<hr/>					

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Los resultados obtenidos según la tabla ANOVA para la comparación del tipo de mezcla fue con un P- Valor menor a 0.05, esto indica que si existen diferencias significativas entre ellas, lo cual se buscaba con este

proyecto puesto que la dureza es una de las propiedades más importante sa la hora de crear una prótesis dental la cual debe resistir fuerzas ejercidas dentro de la cavidad masticatoria de los seres humananos sin dejarse penetrar o deformar.

#### Graficas de medias para dureza en mezcla y marca



**Ilustración 61. Graficas de medias para dureza en mezcla y marca**

Según las graficas se observa que las medias entre las mezclas si se encuentran significativamente alejadas a diferencia a las de la marca, lo que infiere que hay una diferencia mínima de acuerdo a la casa fabricante de acrílico que se utilice.

A continuación en la ilustración 60, la gráfica muestra la cantidad de fuerza ejercida para lograr incorporarse en el material:

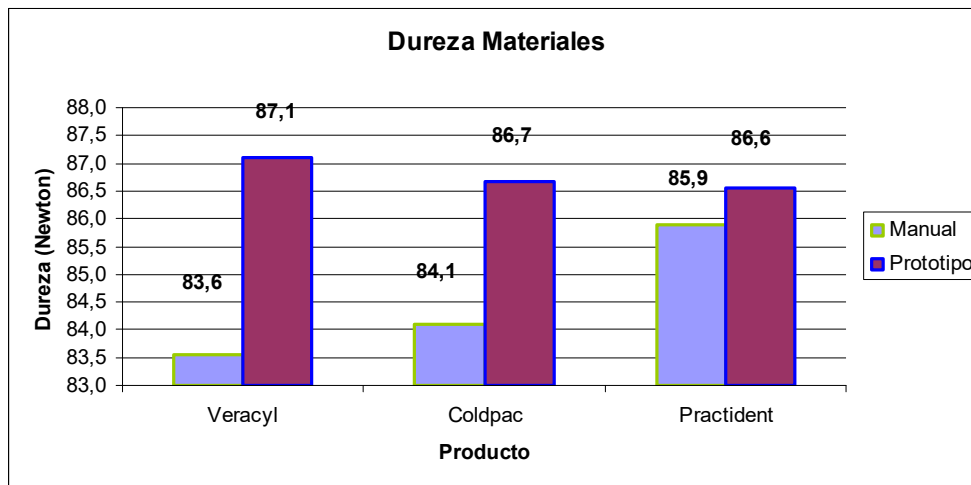
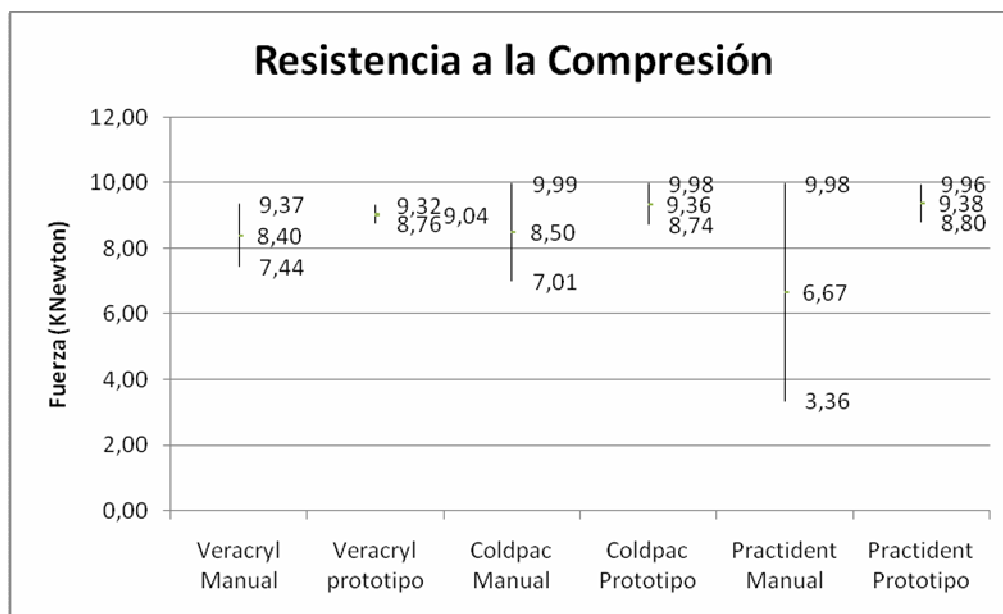


Ilustración 62 Grafica dureza

#### 4.5.1.2 Resistencia a la Compresión

Para medir y comparar la resistencia a la compresión para cada tipo de material según su compresión se realizaron pruebas la máquina Instron aplicando presión en la probeta hasta la falla y la Ilustración 60 muestra los resultados obtenidos.



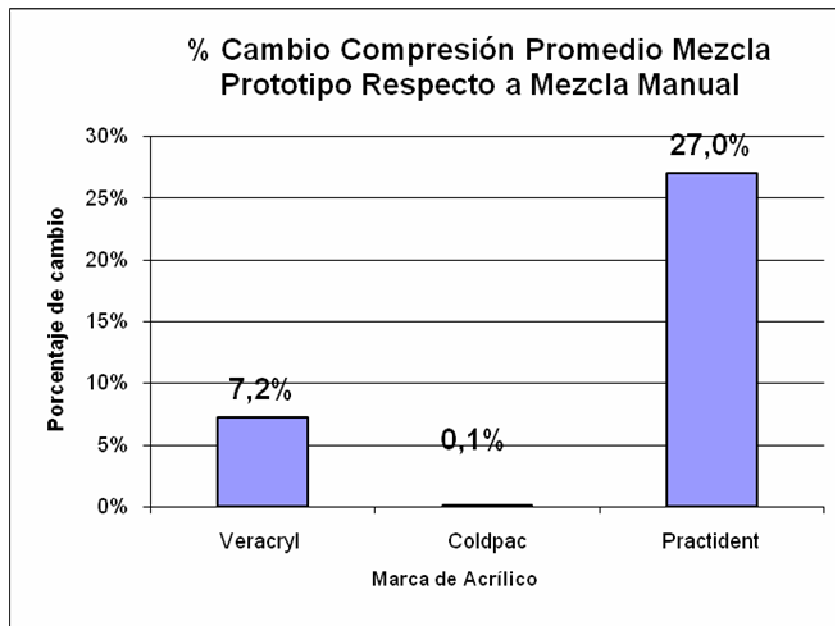
### **Ilustración 63. Grafico resultados compresión materiales**

La gráfica de fuerza ejercida para la falla de cada muestra, es mayor para las muestras obtenidas en el prototipo, con un rango de esfuerzos mas cerrado

Se visualiza una diferencia entre la resistencia a la compresión para las muestras obtenidas del prototipo y aquellas realizadas manualmente, favoreciendo aquellas obtenidas del prototipo dosificador, a las cuales se les debe aplicar una fuerza mayor a 9 KN.

Entre los datos obtenidos se aprecia una similitud entre la fuerza máxima aplicada a las probetas manuales y del prototipo, esta relación se da puesto que la cantidad mezclada de monómero – polímero puede estar muy cercana a la relación adecuada, en esta mezcla no se tiene control sobre la cantidad de insumos a mezclar, de igual manera se aprecia que los menores esfuerzos reportados se deben a muestras obtenidas por mezcla manual y estos se alejan notablemente de los resultados donde se aplico un mayor esfuerzo.

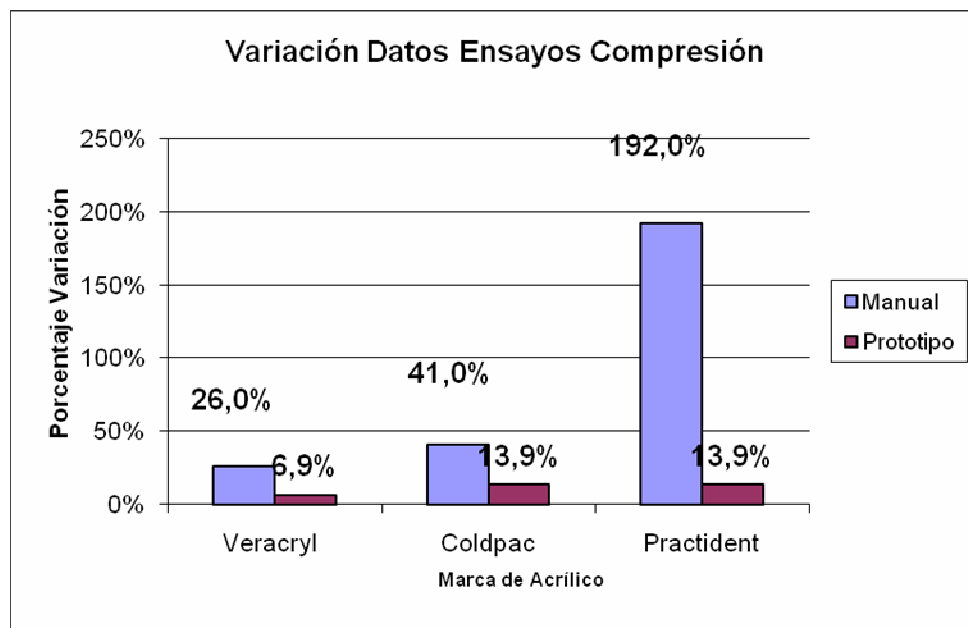
Se aprecia un resultado homogéneo en la respuesta de las probetas con mezcla del prototipo. La ilustración 61 contiene la diferencia en porcentaje en el aumento de resistencia a la compresión para mezclas manuales y mezclas del prototipo para cada producto.



**Ilustración 64. Desviación promedio de compresión según mezcla para cada material**

Las pruebas favorecen a las mezclas de acrílico realizadas con el prototipo, puesto que requieren mayor fuerza para su deformación.

La ilustración 62 contiene la desviación entre los resultados del fuerza aplicada a la compresión en cada producto por cada tipo de mezcla.



**Ilustración 65. Porcentaje de desviación para cada tipo de muestra**

De los resultados se tiene que hay mas cercanía entre los datos de fuerza ejercida obtenidos de la mezcla mediante el prototipo, los resultados de fuerza ejercida de la mezcla manual se distancian notablemente unos de otros y por ello el alto porcentaje de de diferencia. Nuevamente se hace énfasis en que la mezcla manual no tiene una proporción exacta y esto se refleja en los resultados distantes en la medición de propiedades.

**Tabla 7. ANOVA para compresión**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valc
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:mezcla	2.88427	1	2.88427	14.46	0.019
RESIDUOS	0.797867	4	0.199467		
TOTAL (CORREGIDO)	3.68213	5			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Los resultados obtenidos según la tabla ANOVA para la comparación del tipo de mezcla fue con un P- Valor menor a 0.05, esto indica que si existen diferencias significativas entre ellas, para la odontología si la compresión es buena significa que la reducción que puede llegar a tener la prótesis por los movimiento masticatorios entre otros, puede ser menor.

Ilustración 63. Medias de mezcla y marca para la compresión

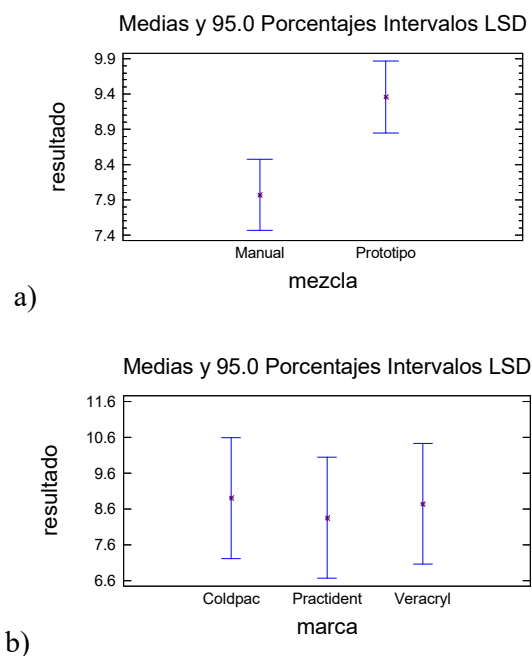


Ilustración 66. Gráficas de medias de mezcla y marca para la compresión.

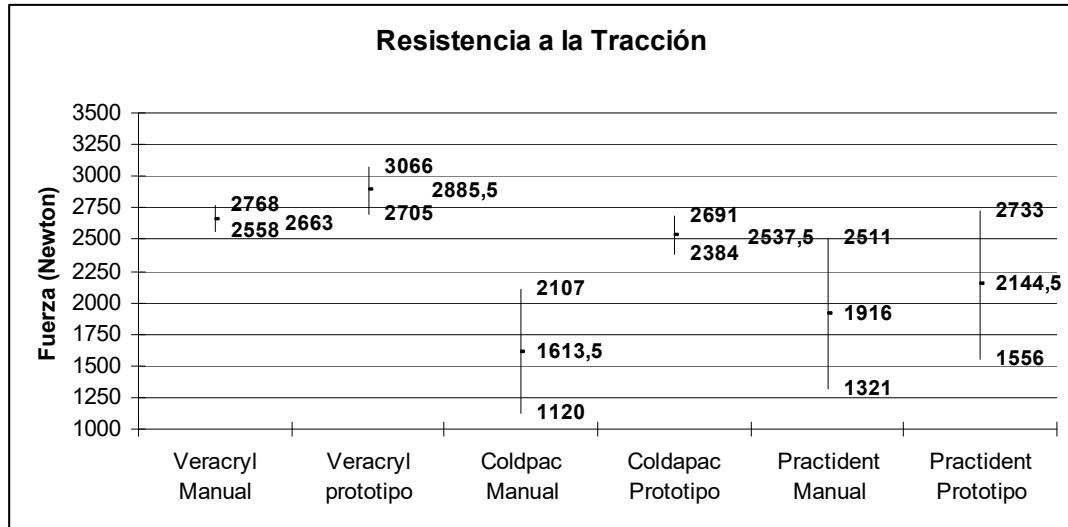
Según las gráficas, las medias entre las mezclas si se encuentran significativamente alejadas a diferencia a la de la marca, lo que infiere que no hay diferencia entre que casa fabricante de acrílico se utilizó.

#### 4.5.1.3 Resistencia a la Tracción

La prueba de tracción se logra estirando la probeta hasta la fractura y se registra la fuerza en la que ocurrió la fractura. La fractura se da porque se supera el límite elástico en el material. La Ilustración 64 contiene Los



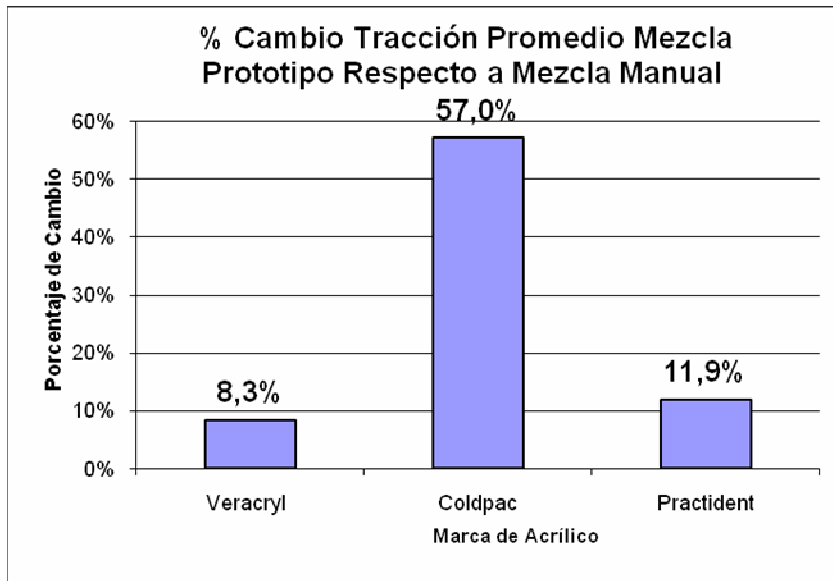
resultados de la fuerza necesaria para romper la probeta de cada tipo de producto y cada proceso de mezcla.



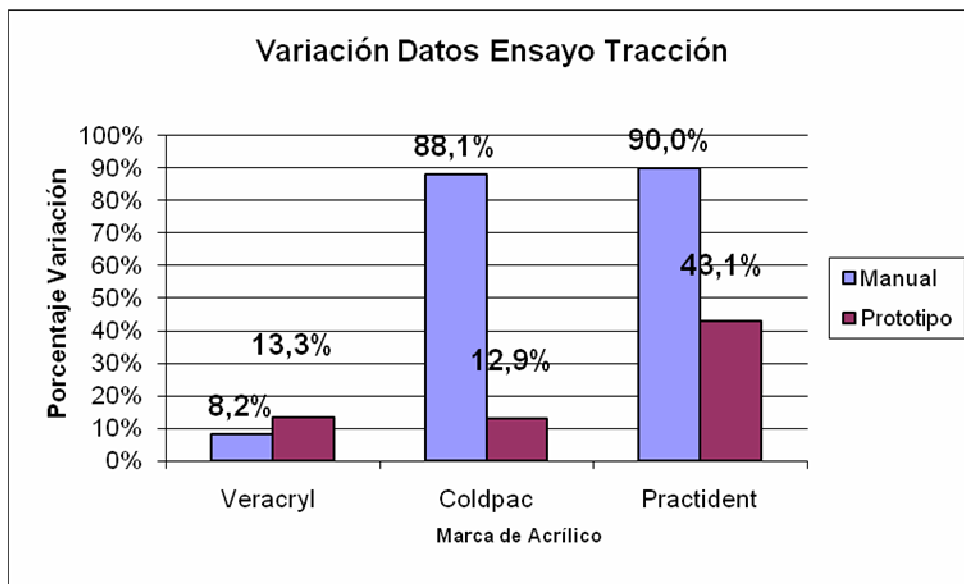
**Ilustración 67. Gráfica resultados prueba de tensión**

Los resultados de esta prueba son discutibles porque dependen del grosor de la probeta y de la presencia de burbujas en su composición que facilitan la fractura.

Aunque no se percibe un comportamiento homogéneo entre los resultados, se aprecia una mejoría entre la resistencia a la tracción en las mezclas del prototipo con respecto a las mezclas manuales y en el prototipo una variación de datos menor en relación con los datos manuales.. (Ilustración 65 y 66)



**Ilustración 68. Porcentaje de cambio de tracción prototipo respecto a mezcla manual**



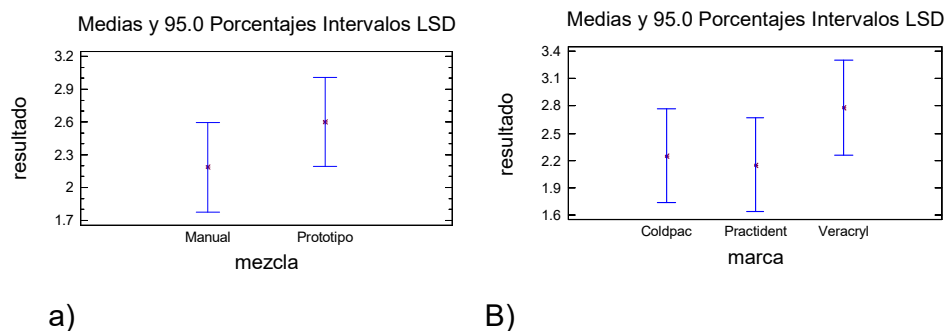
**Ilustración 69. Variación datos ensayo de tracción**

**Tabla 8. ANOVA para la tracción**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:mezcla	0.256267	1	0.256267	1.97	0.2334
RESIDUOS	0.521067	4	0.130267		
TOTAL (CORREGIDO)	0.777333	5			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

**Graficas de medias para mezcla y marca**

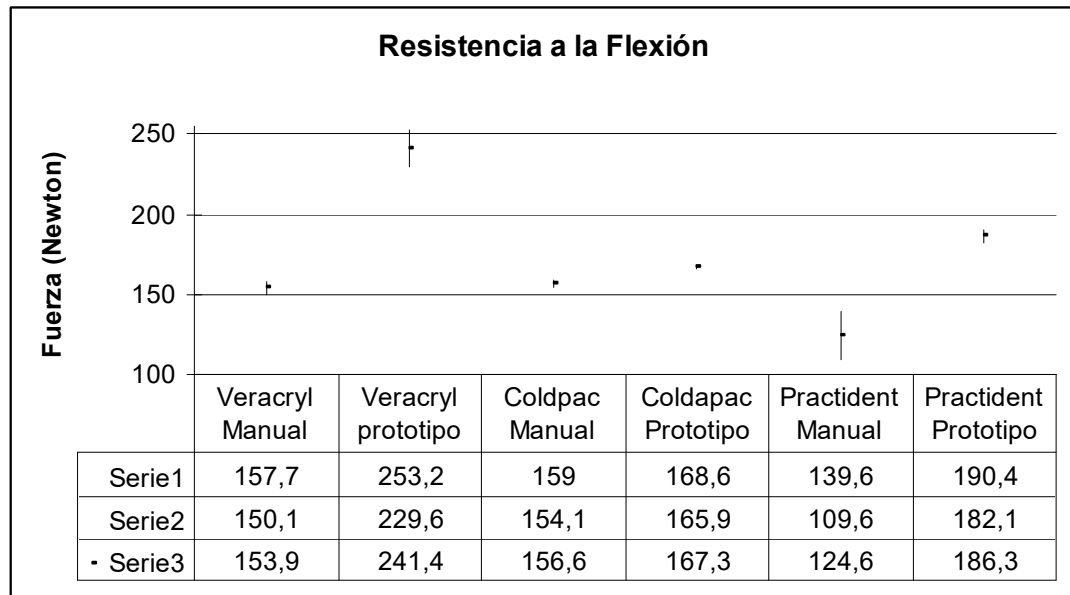


**Ilustración 70. Gráficas de medias para mezcla y marca**

Con los resultados obtenidos por el diseño de experimentos no se encontraron diferencias significativas según los parámetros del programa. Por lo cual se debe analizar los factores con los cuales se puede afectar la sensibilidad de la prueba.

#### 4.5.1.4 Resistencia a la Flexión

Las pruebas se realizaron en la máquina Instron, se aplica una carga puntual sobre la probeta, se reporta la fuerza en la que se da la falla del material. En la ilustración 68 se reportan las fuerzas de falla de cada ensayo por producto por cada tipo de mezcla.



**Ilustración 71. Gráfica resultados prueba de flexión**

En la Ilustración 68 se hace complejo apreciar las diferencias entre datos, razón por la cual se complementa con la tabla inferior, donde serie 1 es el límite superior de los datos, serie 2 el límite inferior y la serie 3 se denomina como el promedio entre los datos registrados.

Analizando los resultados por producto en relación con el tipo de mezcla que se le dio, manual o mediante prototipo, en los 3 productos se aprecia un aumento en la resistencia a la flexión manifestada en el aumento de la fuerza requerida para producir la falla en el material. Para esta prueba los resultados de las fuerzas aplicadas en la probeta obtenida de la mezcla en el prototipo no se muestran cercanos, a diferencia de las pruebas de dureza y compresión, el rango de las fuerzas se encuentran entre 160N y 255N con una diferencia porcentual del 52,6%. Los aumentos de la mezcla del prototipo con relación a la mezcla manual se muestran para cada producto en la ilustración 69.

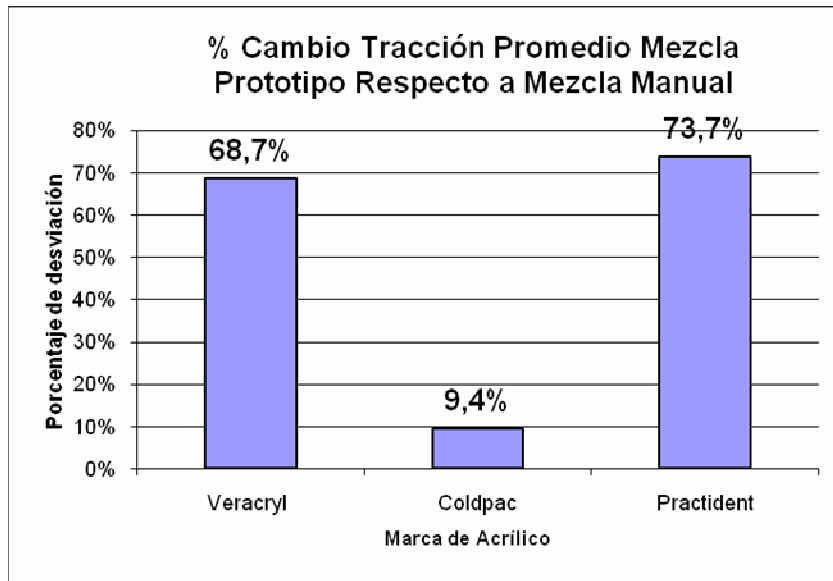
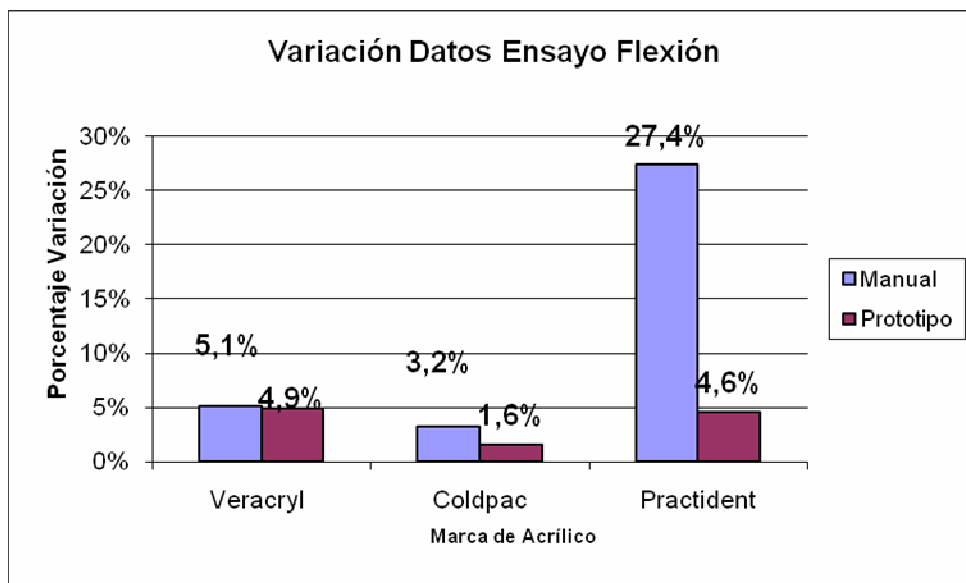


Ilustración 72. Desviación promedio de resistencias a la flexión

En Veracryl y Coldpac el aumento es significativo puesto que la resistencia aumenta en ambas mas del 65%, mientras el comportamiento de Coldpac se muestra más cercano entre ambos tipos de mezcla se infiere que se debe a que la mezcla manual se acercó a la proporción que el prototipo provee.

En la ilustración 70 se evidencia que la dispersión de los datos obtenidos en la prueba es muy cercana, y también se muestra la comparación porcentual entre las fuerzas registradas en los diferentes ensayos realizados a los productos.



**Ilustración 73. Variación de datos ensayo de flexión**

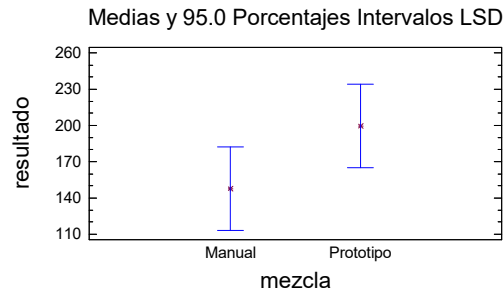
El único producto que mostró un porcentaje de desviación alto fue Practident en su mezcla manual, este porcentaje se acerca al 30% en la diferencia entre datos obtenidos, para las probetas realizadas de la mezcla del prototipo la cercanía entre en los resultados de fuerzas son un resultado esperado, pero a la vez es muy satisfactorio porque además de mostrar un aumento en la resistencia a la flexión una homogeneidad entre los datos obtenidos en los ensayos practicados esta homogeneidad es muy buena y no supera la desviación del 5%, porcentaje de error máximo considerado en el proyecto.

**Tabla 9. ANOVA para flexión**

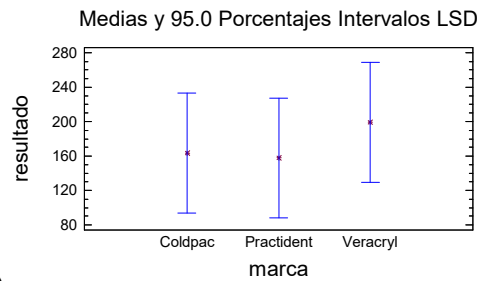
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valo
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:mezcla	4040.42	1	4040.42	4.32	0.106
RESIDUOS	3739.37	4	934.842		
TOTAL (CORREGIDO)	7779.78	5			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

**Ilustración 74. Gráfica Medias de mezcla y marca para flexión**



a)



b)

Con los resultados obtenidos por el diseño de experimentos no se encontraron diferencias significativas según los parámetros del programa. Pero al realizar la grafica se puede apreciar una mejoría de la mezcla realizada por el prototipo en comparación a la realizada manualmente, lo que quiere decir que puede que no se haya encontrado una buena respuesta según el diseño de experimentos pero para el propósito de este proyecto si lo hubo, ya que aunque sea pequeña la varianza es muy significativa para el campo que se implementa.

## 4.5.2 ANALISIS PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de estos materiales impactan en la duración del material en el paciente, en su apariencia y en la aceptación del paciente ante esta prótesis.

### 4.5.2.1 Densidad

En la Ilustración 72 se muestran las densidades encontradas para cada material, en la Ilustración se puede ver que la densidad al ser una propiedad física del material no tiene variación significativa dependiendo del tipo de preparación y esta afirmación es consecuente con los resultados reportados en la ilustración los cuales se encuentran muy cercanos entre si para cada tipo de mezcla realizada en cada material.

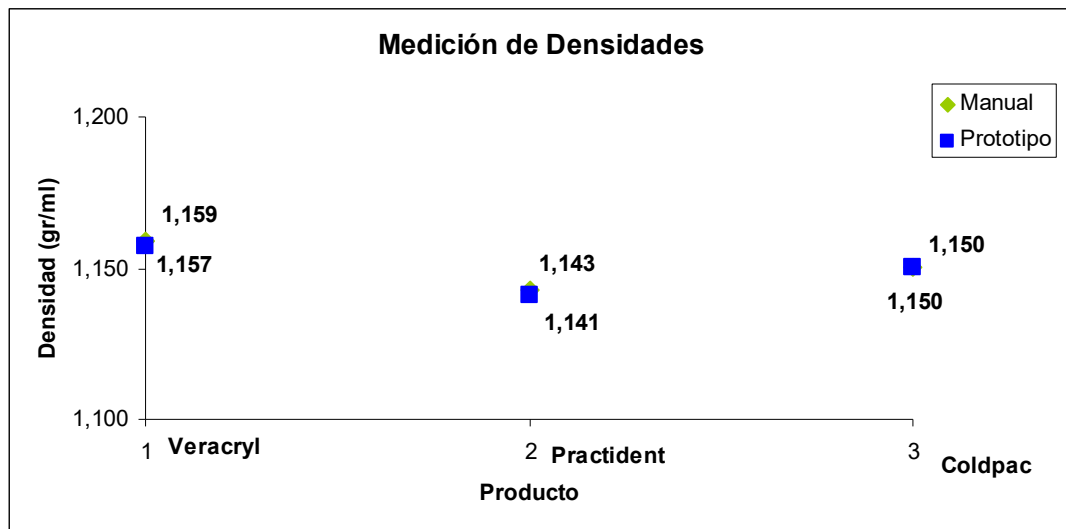


Ilustración 75. Densidades material

Con respecto a los resultados obtenidos por el diseño de experimentos no se encontraron diferencias significativas según los parámetros del

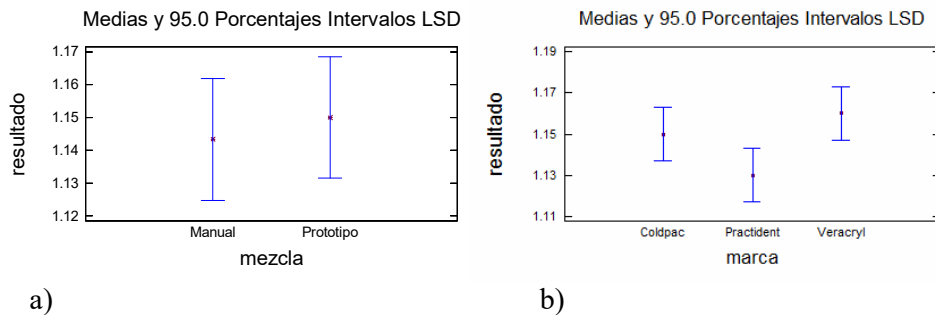


programa. Puesto que P- valor es mayor a 0.05, estos resultados eran de esperar puesto que se trabajó con el mismo acrílico y la densidad no se debería haber afectado puesto que depende del compuesto.

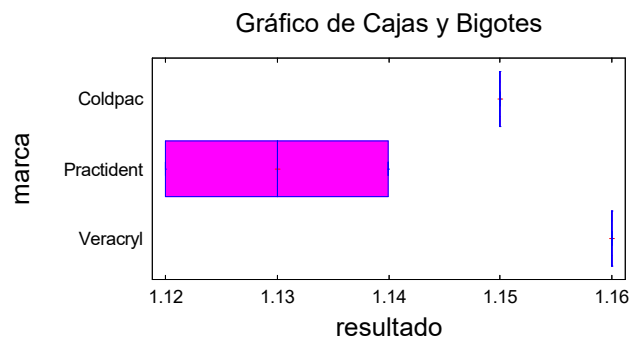
**Tabla 10. Tabla ANOVA para densidades**

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-V
Entre grupos	0.0000666667	1	0.0000666667	0.25	0.6
Intra grupos	0.00106667	4	0.000266667		
Total (Corr.)	0.00113333	5			

**Ilustración 76. Gráfica medias de mezcla y marca para flexión**



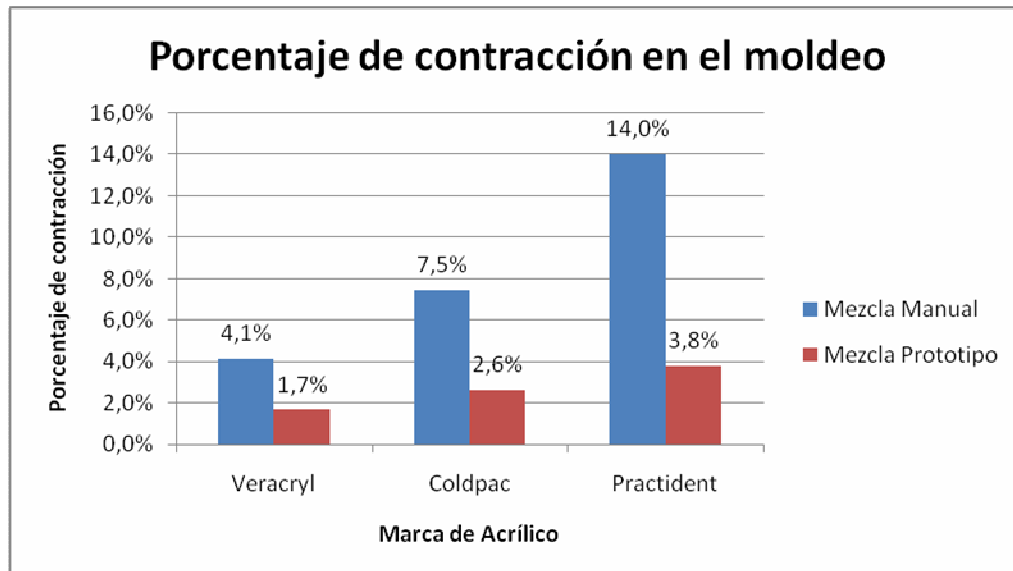
Con los datos obtenidos para las densidades se puede apreciar que no se encuentra un cambio significativo entre las medias de la marca, y el rango en que se encuentran no es muy distante uno del otro, se puede decir que presentaron la misma densidad el acrílico Coldpac y el Veracril, pero la de Practident sí fue diferente lo cual se puede esperar (ilustración 74) ya que este es un compuesto termopolimerizante y los otros dos son autopolimerizantes, esto significa que tienen un factor diferenciador en su composición que puede verse reflejado en la densidad.



**Ilustración 77. Gráfico Densidad Muestras**

#### **4.5.2.2 Contracción**

Desde la mezcla de componentes hasta el fin de su reacción, los materiales sufren un cambio volumétrico denominado contracción, esta contracción es inherente a las propiedades de cada material y función de su preparación, con una buena dosificación, el cambio volumétrico se hará menor. La ilustración 75 muestra el porcentaje de contracción de la muestra con respecto al molde, cabe aclarar que la contracción que sufrió la probeta se dio a nivel del espesor y no de longitud, la razón que sustenta este cambio volumétrico es que en el molde la parte superior se encontraba abierta, es decir, el material quedaba en contacto directo con el aire y esto provoca la evaporación de líquido superficial que no reaccionó.



**Ilustración 78. Porcentaje de contracción en el moldeo.**

Aquellas mezclas realizadas manualmente tuvieron un mayor porcentaje de contracción que las obtenidas del prototipo.

El impacto de esta propiedad en la prótesis dentales radica principalmente que la disminución del volumen de la pieza da cabida a espacios entre la prótesis y la encía, desajusta la pieza y da a formación de gérmenes y enfermedades por los depósitos de comida en la cavidad y por otra parte, la contracción genera dolor en el paciente al implantarse la prótesis.

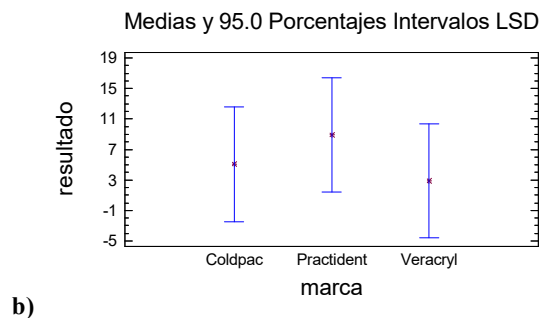
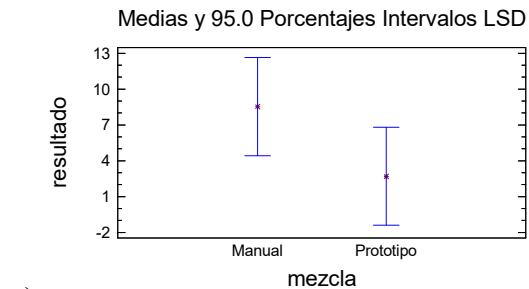
Las mediciones realizadas se hacen después un día después de que la reacción de polimerización ha culminado, tiempo en el que el material se contrae en su máximo, con el fin de comparar el cambio volumétrico se toma como referencia los 7 mm de espesor con el que todas las probetas fueron construidas.

**Tabla 11. ANOVA para contracción**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
-----					
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:mezcla	51.1584	1	51.1584	3.89	0.1198
RESIDUOS	52.5946	4	13.1486		
-----					
TOTAL (CORREGIDO)	103.753	5			
-----					

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

**Ilustración 79. Grafica Medias de mezcla y marca para contracción**



Los resultados obtenidos según la tabla ANOVA para la comparación del tipo de mezcla fue con un P- Valor mayor a 0.05, esto indica que no existen diferencias significativas entre la mezcla y la marca según el programa.

Según los resultados arrojados en la gráfica, se muestra una significativa disminución en el espesor de la probeta para aquellas muestras obtenidas

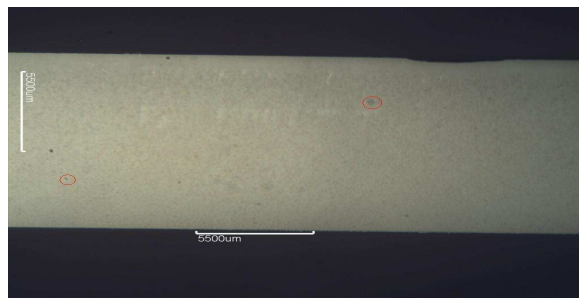
en la dosificación manual, adicional a ello la diferencia entre las contracciones de los tres materiales es relativamente alta, el espesor de menor disminución varía de 0,3mm en relación con el espesor inicial para la muestra de Veracryl® y 1,0 mayor disminución de espesor con relación al inicial para la muestra Practident, mientras que en las muestras obtenidas del prototipo arrojan un resultado más cercano entre ellas, mostrando mayor homogeneidad de comportamiento con respecto a las muestras manuales.

#### 4.5.2.3 Porosidad

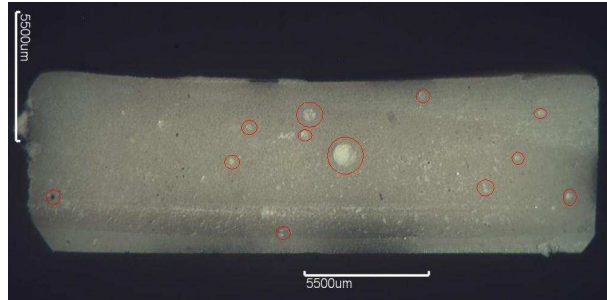
Por no contar con medios cuantitativos para realizar la prueba no se realizó un diseño de experimento pero si se realizó un análisis cualitativo teniendo en cuenta la porosidad de estos materiales es indispensable para la salud oral del paciente, puesto que un material podrá fácilmente albergar en sí restos alimenticios, los cuales traerán consigo el crecimiento de microorganismos que provoquen enfermedades en los dientes como las caries.

La porosidad de dos muestras aleatorias se observó al microscopio, pero cabe aclarar que es una propiedad que también depende del proceso de formación del diente desde la preparación y moldeo realizado por el odontólogo.

A manera de ilustración de una muestra altamente porosa y otra con poca cantidad de poros (Ilustración 77 y 78):



**Ilustración 80. Muestra Poco Porosa**



**Ilustración 81. Muestra Porosa**

La porosidad debe ser evitada en las prótesis dentales, por razones anteriormente mencionadas, el objetivo de las ilustraciones es mostrar como referencia materiales porosos y aquellos que han sido logrados de una manera correcta.

Se hace complejo encontrar una relación de porosidad entre las muestras preparadas manualmente y mediante el prototipo puesto que todas ellas fueron manipuladas en diferentes momentos y factores como lo es la temperatura, porcentaje de humedad y aire que entra a la muestra no fueron controlados estrictamente.

## 5. ANÁLISIS ECONÓMICO REALIZACIÓN DEL PROTOTIPO

En la tabla 12 se desglosan los costos asociados al diseño y construcción del prototipo.

**Tabla 12. Análisis de costos**[illegible]

## 6. CONCLUSIONES

El prototipo de dosificador mezclador para la preparación de acrílico dental construido, cumple las funciones necesarias para la preparación del producto con un manejo simple y procesamiento rápido, que minimiza el contacto con la piel, elimina las fallas presentadas en la manipulación manual y principalmente genera un ahorro gracias a la dosificación correcta.

La dosificación volumétrica predeterminada (2:1, 1ml polímero en polvo / 0.5 ml de líquido) en el equipo es adecuada para lograr un producto con propiedades homogéneas para moldear la prótesis, además presenta una calidad de mezcla que permite buena reactividad entre el monómero y el polímero creando una correcta reacción entre los agentes entrecruzantes.

Los materiales empleados en la construcción del prototipo cumplen con las especificaciones para el almacenamiento del monómero y del polímero en polvo, puesto que al estar en presencia de los productos no hay reacción, ni se presentan cambios en las propiedades del producto ni del compartimiento del almacenamiento. Particularmente el monómero de acrílico al ser un agente químico corrosivo presentó, en la prueba de estabilidad dimensional y estructural, un comportamiento adecuado en el contacto directo del material de polipropileno que constituye el prototipo.

Los diseños se probaron y analizaron con variaciones de forma y funcionalidad con el fin de obtener una propuesta conveniente para la conservación de los materiales, viabilidad técnica y funcional del equipo. El dispositivo costa de un peso aproximado de 600 gr con unas dimensiones de 18cm de altura, 15 cm de ancho y 11 cm de espesor, el



costo aproximado del equipo es de USD\$100 (Dato octubre de 2009, TRM 1850 \$Col / \$US) el equipo genera una dosificación por ciclo equivalente al tamaño de un diente.

Con los espectros infrarrojos se comprobó que los acrílicos de las diferentes proveedores tienen una constitución en su fórmula muy similar y aunque se trabaje con los dos tipos de acrílicos temopolimerizante y autopolimerizante, las variaciones en la composición química no afectan el funcionamiento del dosificador - mezclador, ya que se obtuvieron resultados satisfactorios en ambos casos, esto quiere decir que se puede dosificar acrílicos de diversas marcas disponibles en el mercado en el prototipo construido.

Al realizar las pruebas mecánicas, especialmente las de dureza y compresión se aprecia un incremento en las propiedades del acrílico favoreciendo la mezcla obtenida del prototipo.

En general las partículas de los acrílicos no tienen mayor diferencia entre ellas y su tamaño de partículas es tan pequeño que su fluidez se comporta casi como las de un líquido, esto fue de gran ayuda para el diseño del equipo puesto que el material se desplaza fácilmente dentro de el dosificador.

En pruebas de campo realizadas con odontólogos para mostrar el funcionamiento del prototipo dosificador mezclador, se obtuvieron opiniones positivas que hacen al equipo un producto altamente reproducible.

Al realizar varios ciclos de dosificación con el dispositivo, se obtuvo un porcentaje de desviación en la carga del polvo y el líquido con respecto a la dosificación estándar menor al 5% en todos los ensayos, lo cual es muy

buen resultado y se encuentra dentro del margen permisible, la diferencia del polvo se puede deber al factor de empaquetamiento ya que se está realizando una dosificación volumétrica y no de peso, y la del líquido a pequeños derrames.

## 7. RECOMENDACIONES

El alcance de este proyecto era de realizar un prototipo, al obtener tan buenos resultados se propone proceder a la construcción de un equipo con un diseño que sea llamativo y resistente para ser comercializado.

Al trabajar con un acrílico autopolimerizante se debe tener extremadamente cuidado de no dejar que estas reacciones en boca, puesto que su alto desprendimiento de calor puede llegar a dañar los nervios de la encía del paciente.

El prototipo aun puede llegar a ser más automatizado utilizando controles y sensores de llenado por ejemplo. Se puede buscar la asesoría de un ingeniero electrónico o una persona que maneje el campo de programación, para la construcción del equipo.

El buen reconocimiento de un proceso, de los componentes que lo conforman, la identificación de necesidades y restricciones, son el paso principal para proponer mejoras en logrando mejores resultados que no impacten deficientemente en las salidas de dicho proceso.

El método de fabricación del equipo para comercialización debe ser más automatizado para producción en masa, con el fin de disminuir costos

El mezclador tiene un mejor funcionamiento con mayor torque y menores revoluciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) ACOSTA, DIEGO A. FUNKHOUSER, GARY P. GRADY, BRIAN P.,(2006) "Mechanical properties and rheology of polyalkenoate cements using various low-cost fillers, Springer Science, Business Media, J Mater Sci, Vol. 42, Pag: 3632 – 3644, 2007
- 2) ALTONE, GENE. DODD, THOMAS. MURDOCK, WILLIAM. QUIRAN, DANIEL. (2008) 'Plastic pressurized dispenser', US PAT 2008/0003387.
- 3) ALVAREZ, MONICA LUCIA. GARCIA R, LINA M. RESTREPO RAMIRO, ABAD PABLO. PELAEZ, ALEJANDRO. "Alternativas para mejorar las propiedades mecánicas de dientes PMMA utilizados en prótesis totales - estado de viabilidad", Revista Universidad del CES medicina, Vol. 16 N<sup>o</sup> 2, Medellín-Colombia, Abril-Septiembre, 2002.
- 4) ANDERSON, J.C, LEAVER, K.D, RAWLINGS, R.D. ALEXANDER, J.M "Ciencia de los materiales, Traducido por Maria Teresa Aguilar, 2 ed., México, Limusa, 1998
- 5) CARR, ALAN B. MCGIVNEY, GLEN P. BROWN, DAVID T. "prótesis parcial removable", McCracken,
- 6) CERVANTES UC, JOSE M. VÁZQUEZ TORRES, HUMBERTO. CAUICH RODRÍGUEZ, JUAN VALERIO. VÁZQUEZ LASA, BLANCA. SAN ROMÁN DEL BARRIO, JULIO. "Comparative study on the properties of acrylic bone cements prepared with either aliphatic or

aromatic functionalized methacrylates, Biomaterials”, Vol. 26, Pag: 4063–4072, 2005.

- 7) CUNUISSE, MICHEL. GRANIER PATRICK, D’HOLLOSY ANTOINE. DE PHINO, DANIEL. (1985) ‘Automatic dispenser-mixer’, US PAT.4.531839, 1985
- 8) CRAIG, ROBERT G. WARD, MARCUS L. “Restorative Dental Materials”,
- 9) ECHEVERRIA, PIEDAD. ROLDAN, MIGUEL. “Rehabilitación del paciente dentado”, Editorial Universidad de Antioquia, Colombia, 1997, pp. 139-151
- 10) FRIEDENTHAL, MARCELO. ‘Diccionario de odontología’ Ed. Panamericana; Segunda Edición,
- 11) GUZMAN BÁEZ, HUMBERTO JOSE. “Biomateriales odontológicos de uso clínico”, 3ª ED, Ecoe Ediciones, Bogota DC, Colombia, 2003
- 12) ICHIM, Q. LI, W. LI, M.V. SWAIN, J. KIESER, “Modeling of fracture behavior in biomaterials”, Biomaterials, Vol. 28, Pag: 1317–1326, 2007
- 13) JIMÉNEZ MAGGIOLO, GUSTAVO. “Incrustaciones de acrílico- Primer Informe sobre 180 casos clínicos”, Revista de la Universidad del Zulia, v.04 n.17, Venezuela, Maracaibo mar,1962
- 14) KENNETH J. ANUSVICE, “La ciencia de los materiales”, Phillips, undécima edición, 2004

- 15) KURZER, MELISSA. "Estudio comparativo de dureza en dientes artificiales fabricados con diferentes tipos de resina acrílica", Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia) Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 121-128. Diciembre 2006
- 16) KURI LAJUD, JOSÉ. JUAN, BARCELÓ SANTANA, FEDERICO. SANTOS ESPINOSA, ALEJANDRO. ACOSTA TORRES, LAURA SUSANA. "Comparación de fuerza de unión de 3 marcas de dientes de resina acrílica sobre 2 diferentes marcas de resinas acrílicas para base de dentaduras", Revista Odontológica mexicana, Vol. 12, Núm. 2 Junio 2008 pp. 76-80
- 17) MANHAR K, PATEL. STISO ALBERT, LE BRAS-BROWN, NATHAN. THALHEIMER, JAMES. (2000), "Product Dispenser and Holder" US PAT 6.116,801
- 18) MARK, EATON. (1991), 'Liquid and solid dispenser apparatus and method', US PAT 4.989.547.
- 19) MILLER; ERNEST M. KROTOCHVIL, JAMES. "Prótesis Parcial removable" Ed. Interamericana; Primera Edición En Español, 1975
- 20) NAKABAYASHI, NOBUO. Dental biomaterials and the healing of dental tissue, Biomaterials, Vol. 24, Pag: 2437–2439, 2003.
- 21) OSWALD, TIM A. MENGES, GEORGE. "Materials Science of Polymers for Engineers", Munich Vienna New York, Hanser, 1996, ISBN 3-466-172761-0

- 22) PHILLIPS, RALPH W. "La ciencia de los materiales dentales de Skinner", 3ª ED en español, interamericana y McGRAW-HILL, México DC, 1993.
- 23) TALTEOSIAN, LUIS H. SHAFFER, SCOTT. LATTA, MARK. (1996), 'Method and dispenser for making dental products', US PAT, 5.554.665
- 24) VERBEEK, J.R. DU PLESSIS, B.J.G.W. "Density and flexural strength of phosphogypsum-polymer composites, Construction and Building Materials", Vol. 19, Pag: 265-274, 2005

#### Cibergrafia

- 25) Imágenes de productos de la 3M ESPE, Citado (Mayo 2009)  
Disponibile en Internet  
[http://solutions.3m.com.co/wps/portal/3M/es\\_CO/3M-ESPE-LA/profesionales/productos/productos-por-categoria/](http://solutions.3m.com.co/wps/portal/3M/es_CO/3M-ESPE-LA/profesionales/productos/productos-por-categoria/)
- 26) Newstetic, Resinas Acrílicas Autopolimerizantes, (citado junio 3 del 2009), Colombia,  
Disponibile en Internet  
[http://www.newstetic.com/new\\_stetic/index.php?sub\\_cat=5785](http://www.newstetic.com/new_stetic/index.php?sub_cat=5785)
- 27) Polimetil Metacrilato, citado ( junio 2009),  
Disponibile en Internet  
<http://www.pslc.ws/spanish/pmma.htm>
- 28) Clínica Especialista en Estética Dental Cambra Clinic – Barcelona  
<http://www.cambracclinic.com>